

# APLICACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA AGRICULTURA

MÓDULO 2

INTELLECTUAL  
OUTPUT 1  
2020-1-ES01-KA202-  
082440



Cofinanciado por el  
programa Erasmus+  
de la Unión Europea

*El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.*

AUTORES

Fundación de la Comunitat Valenciana para una economía baja en carbón

Area Europa srl

Eszterhazy Karoly Egyetem

Federación EFAS CV la Malvesía

Järvamaa Kutsehariduskeskus

Stowarzyszenie Edukacji Rolniczej i Lesnje EUROPEA Polska

08/2021



# Contenido

## MÓDULO 2 - APLICACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA AGRICULTURA 1

<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>1</u>
<u>OBJETIVOS</u>	<u>1</u>
<u>LA ENERGÍA RENOVABLE</u>	<u>3</u>
<u>Sector energético europeo</u>	<u>3</u>
<u>La mayor importadora del mundo</u>	<u>3</u>
<u>Limitaciones climáticas</u>	<u>3</u>
<u>Las energías renovables como parte de la solución</u>	<u>4</u>
<u>Principales fuentes de energía renovable</u>	<u>4</u>
<u>Tipos de instalaciones</u>	<u>15</u>
<u>Cálculos y diseño</u>	<u>18</u>
<u>AGRO-FV</u>	<u>22</u>
<u>Introducción a la Agro-FV</u>	<u>22</u>
<u>Agro-FV y el futuro de los objetivos de la PAC</u>	<u>24</u>
<u>¿Cómo contribuye Agro-FV a los objetivos de la PAC?</u>	<u>25</u>
<u>Integración de la agro-electricidad en los planes estratégicos de la PAC</u>	<u>27</u>
<u>Agricultura sostenible y fotovoltaica</u>	<u>28</u>
<u>EL CONCEPTO DE AGRICULTURA SOSTENIBLE</u>	<u>30</u>
<u>Hacia una referencia de 3 estrellas para los proyectos Agrosolares</u>	<u>32</u>
<u>Desafíos existentes para Agrosolar</u>	<u>34</u>
<u>Cómo apoyar la Agrosolar</u>	<u>35</u>
<u>TECNOLOGÍA</u>	<u>37</u>
<u>Enfoques para la Agrovoltaje</u>	<u>38</u>
<u>Tecnologías de los módulos</u>	<u>39</u>
<u>Estructura de montaje y cimentación</u>	<u>40</u>
<u>Gestión de la luz</u>	<u>41</u>
<u>Gestión del agua</u>	<u>41</u>
<u>Tamaño del sistema fotovoltaico</u>	<u>42</u>
<u>Aprobación, instalación y funcionamiento</u>	<u>43</u>
<u>REFERENCIAS Y PÁGINAS WEB DE UTILIDAD</u>	<u>45</u>
<u>RESUMEN</u>	<u>48</u>
<u>PREGUNTAS ABIERTAS</u>	<u>48</u>
<b><u>ANEXO 49</u></b>	
<u>GLOSARIO</u>	<u>49</u>
<u>LISTA DE ABREVIATURAS</u>	<u>49</u>

## Introducción

El siguiente modulo esta dividido en las distintas fuentes de energía renovable, en cómo la energía fotovoltaica puede llegar a desempeñar un papel relevante dentro del sector agrícola, enfocado especialmente a la agrovoltaica para conseguir una agricultura más sostenible, en visibilizar las distintas instalaciones fotovoltaicas que se pueden utilizar en distintos casos y en desglosar cuál es el equipamiento y mantenimiento que pueden necesitar este tipo de instalaciones.

## Objetivos

- Introducción a las energías renovables
- Vinculación de energías renovables con la agricultura y sostenibilidad
- Definición de Agro-FV
- Descripción la aplicación técnica de la energía fotovoltaica
- Explicación de los fundamentos técnicos de la energía solar

## La energía renovable

### *Sector energético europeo*

Europa consume e importa cada vez más energía. Los países de la UE son muy conscientes de las ventajas de una actuación coordinada en este campo tan estratégico. Esto ha llevado a establecer normas comunes en toda Europa y a poner en común los esfuerzos del continente para asegurar la energía que necesita a un precio asequible, generando al mismo tiempo la menor contaminación posible.

La UE revisó su marco de política energética para conseguir pasar de los combustibles fósiles a una energía más limpia y, más concretamente, para cumplir los compromisos del Acuerdo de París de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El acuerdo sobre esta nueva normativa energética – llamada «paquete de energía limpia para todos los europeos» – supuso un paso importante hacia la aplicación de la estrategia de unión energética, publicada en 2015.

Las nuevas normas aportarán beneficios considerables para los consumidores, el medio ambiente y la economía. Al coordinar estos cambios a nivel de la UE, la legislación también subraya el liderazgo de Europa en la lucha contra el calentamiento global y hace una importante contribución a la estrategia a largo plazo de la UE de lograr la neutralidad del carbono (emisiones netas cero) para 2050.

La UE ha fijado un objetivo ambicioso y vinculante del 32% de fuentes de energía renovables en el mix energético de los países miembros para 2030. La revisada Directiva sobre energías renovables (2018/2001/UE) – que contiene este compromiso – entró en vigor en diciembre de 2018.

### *La mayor importadora del mundo*

La Unión Europea, la segunda economía del mundo, consume una quinta parte de la energía mundial, pero tiene muy pocas reservas propias. Afortunadamente, aquí en Europa, nuestra cartera – conocida como el mix energético – es muy diversa (desde las numerosas presas de Austria, hasta las minas de carbón de Polonia, las centrales nucleares de Francia las plataformas petrolíferas del Mar del Norte y los yacimientos de gas de Dinamarca y Países Bajos). No hay dos países europeos iguales y eso no se tiene que tomar como una desventaja – siempre y cuando estos países trabajen juntos para sacar el máximo partido a su diversidad.

La dependencia energética de Europa tiene un enorme impacto en nuestra economía. Compramos nuestro petróleo a la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) y a Rusia, y nuestro gas a Argelia, Noruega y Rusia. Las arcas europeas se ven mermadas en más de 350.000 millones de euros cada año para pagarlo. Además, los costes de la energía no dejan de aumentar. Eso no nos deja otra opción: los países de la UE tienen que ser eficientes, fijarse objetivos ambiciosos y trabajar juntos si quieren diversificar sus fuentes de energía y sus canales de suministro.

### *Limitaciones climáticas*

Los principales expertos han demostrado cuál será el exorbitante coste del cambio climático si el mundo no consigue reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. En este caso, el sector energético jugará un papel crítico porque está directamente implicado, ya que más del 80% de su producción procede de combustibles fósiles, que al quemarse emiten dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el principal gas de efecto invernadero. En el futuro, por tanto, el sector energético europeo tendrá que reducir los combustibles fósiles y utilizar mucho más las fuentes de energía con bajas emisiones de carbono.

### *Las energías renovables como parte de la solución*

Las energías renovables se encuentran en el centro de la estrategia energética europea a largo plazo porque contribuyen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuyen las importaciones de energía de Europa, haciéndola más independiente. Este sector económico en auge contribuye al liderazgo tecnológico europeo, proporcionando a los países de la UE y a sus regiones nuevos empleos «verdes» y exportaciones de alto valor añadido.

El objetivo actual de la UE es que el 20% de la energía consumida en la Unión Europea en 2020 proceda de fuentes renovables (y al menos el 27% en 2030). La promoción de este objetivo en toda Europa ha provocado un aumento espectacular de la capacidad de producción de fuentes de energía renovables. En 2011 se instalaron más de 100 gigavatios de paneles solares en todo el mundo, el 70 % de ellos en la UE. La producción de energías renovables de la UE contribuye a reducir las importaciones de combustibles fósiles por un valor de unos 400.000 millones de euros al año.

El mercado europeo de las energías renovables, en plena expansión, ha reducido considerablemente el coste de las tecnologías renovables: el coste de los paneles solares, por ejemplo, ha descendido un 70% en los últimos 7 años.

Las energías renovables también forman parte de un creciente sector tecnológico «verde» que emplea cada vez a más personas en Europa. En 2011, 1,2 millones de personas tenían empleos relacionados con las energías renovables. Para 2020, se espera que el sector de las energías renovables y la eficiencia energética emplee a más de 4 millones de personas en toda la UE.

### *Principales fuentes de energía renovable*

Los recursos energéticos renovables proceden de fuentes de energía que se reponen o renuevan de forma natural. Entre los recursos energéticos renovables se encuentran los siguientes:

- **Energía eólica**

La energía cinética del viento se convierte en electricidad mediante turbinas eólicas. Las turbinas pueden estar situadas en tierra o en el mar. La cantidad de energía generada varía con la velocidad del viento, lo que puede hacer que el suministro de energía sea difícil de predecir en periodos cortos de tiempo.

La energía eólica, como recurso energético renovable, representó casi el 13% de la producción



total de energía primaria renovable en la UE-28 en 2015.

- **Energía solar**

La energía solar es un recurso energético renovable. Alrededor del 6% de la producción total de energía primaria de las energías renovables en la UE-28 en 2015 se generó por este medio. Los ejemplos más comunes de generación de electricidad y calor a partir del sol son:

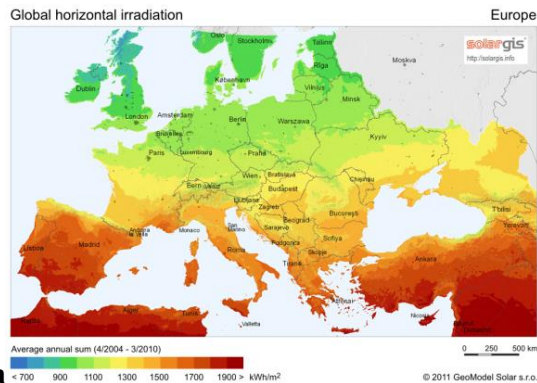
- Conversión de la energía solar en electricidad mediante una célula fotovoltaica
- Concentración de la energía de los rayos solares para calentar un receptor. Este calor solar se transforma en energía mecánica mediante turbinas y, por tanto, en electricidad disponible para el consumo
- Generación de energía térmica mediante tecnologías solares



térmicas

La generación de electricidad y calor por medio de la energía solar tiene las siguientes características principales:

- La energía solar es un recurso infinito y de libre disposición.
- Se necesitan grandes extensiones de terreno para captar la energía del sol con colectores.
- La generación depende del nivel de insolación, que varía entre las distintas regiones y las condiciones meteorológicas.
- La energía solar puede utilizarse en zonas remotas donde no se dispone de la red eléctrica.
- Cada vez más aparatos de uso cotidiano pueden funcionar con energía solar.



- **Energía hidroeléctrica**

En 2015, la energía hidroeléctrica fue el mayor recurso energético renovable de Europa y representó más del 14% de la producción total de energía primaria de las energías renovables en la UE-28.

La energía hidroeléctrica se genera convirtiendo primero la energía potencial almacenada en el agua en energía cinética del agua corriente, que luego se convierte en energía eléctrica mediante turbinas.

Las principales tecnologías hidroeléctricas son:

- Centrales hidroeléctricas de pasada: obtienen energía para la producción de electricidad a partir del agua del río.
- Centrales hidroeléctricas de embalse: utilizan el agua almacenada en un embalse para la producción de electricidad.
- Centrales de bombeo: el agua se bombea de un embalse inferior a otro superior cuando la oferta de electricidad supera la demanda.

Cuando hay agua almacenada en un embalse, se puede generar energía hidroeléctrica cuando se necesita para satisfacer las fluctuaciones rápidas o inesperadas de la demanda. Sin embargo, las posibilidades de emplazamiento son limitadas y el impacto medioambiental por el uso del suelo y



la conversión es potencialmente elevado.

- **Energía de biomasa**

La biomasa - materia orgánica de origen no fósil, entre los que se incluyen también los residuos no orgánicos - puede convertirse en bioenergía mediante la combustión, ya sea directamente o a través de productos derivados. En 2015, alrededor del 64% de la producción total de energía primaria de energías renovables en la UE-28 se generaron de esta forma.

Algunos ejemplos de productos derivados de los flujos de residuos son la conversión del aceite usado en biodiésel, del estiércol animal y de los residuos orgánicos domésticos en biogás, y de los productos vegetales o desechos vegetales en biocombustible.

Los siguientes materiales pueden utilizarse en la generación de bioenergía:

- Madera y residuos de madera.
- La parte orgánica de los residuos sólidos urbanos.
- La parte orgánica de los residuos industriales.
- Aguas residuales.
- Estiércol.
- Las plantas de cultivo y los subproductos vegetales de la producción de alimentos.

Junto con la lluvia y la nieve, la luz solar hace crecer las plantas. La materia orgánica que forman esas plantas se conoce como biomasa. La biomasa puede utilizarse para producir electricidad, combustibles para el transporte o productos químicos. El uso de la biomasa para cualquiera de estos fines se denomina energía de la biomasa.

- La biomasa, especialmente la leñosa, puede quemarse directamente para generar calor y/o electricidad.
- El biogás, principalmente metano y dióxido de carbono, se produce a través de la descomposición bacteriana de la materia orgánica como las aguas residuales, el estiércol, los residuos orgánicos domésticos y los cultivos vegetales.
- Los biocombustibles son combustibles líquidos de origen biológico no fósil y también representan un recurso energético renovable. Los biocombustibles pueden dividirse en biogasolina y biodiésel según la materia de origen utilizada.

Dado que la materia vegetal orgánica ha absorbido dióxido de carbono durante su crecimiento, cuando finalmente se quema para generar bioenergía, devuelve a la atmósfera una cantidad comparable de carbono.

Sin embargo, la producción de biocombustibles agrícolas entra en competencia potencial con la producción agrícola de alimentos. Según el Centro Helmholtz de Investigación Medioambiental (UFZ, por sus siglas en alemán), la producción de cultivos bioenergéticos está aumentando rápidamente en la UE, y en 2011 utilizó el 13% de la superficie agrícola europea. La demanda de tierras de los cultivos bioenergéticos puede ser conflictiva y debe equilibrarse en el contexto de un enfoque global sostenible de la gestión de la tierra.

- **Geotérmica**

En 2015, la energía geotérmica contribuyó a cerca del 3% de la producción primaria total de energía renovable en los países de la UE-28.

La energía geotérmica está presente en la tierra en forma de calor y se almacena en rocas, vapores atrapados, agua o salmueras. Esta energía térmica puede utilizarse directamente para calefacción o para generar electricidad.

Una de las principales ventajas de la energía geotérmica es la fiabilidad de su suministro, así como su disponibilidad casi ilimitada. Sin embargo, el sistema tecnológico (sistema de tuberías) puede requerir grandes cantidades de espacio, y existen dificultades para el mantenimiento de los equipos, que se encuentran principalmente en las profundidades de la superficie terrestre. Además, puede haber impactos ambientales adversos por la liberación de sustancias potencialmente dañinas o peligrosas como producto secundario de este tipo de producción de energía.

Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), la energía geotérmica podría representar alrededor del 3,5% de la producción mundial anual de electricidad y el 3,9% de la energía para el



calor (excluyendo las bombas de calor geotérmicas) en 2050.



- **Energía mareomotriz, undimotriz y oceánica**

Las energías mareomotriz, undimotriz y oceánica actualmente contribuyen poco en la producción de electricidad. Esto ocurre tanto en los países de la UE como en el resto del mundo. En 2015, esta fuente de energía aportó el 0,02% del total de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en la UE-28.

Desde la década de 1970 se han desarrollado diversas tecnologías para explotar las diferentes fuentes de energía de los océanos; sin embargo, ninguno de los diferentes tipos de tecnologías se aplica todavía de forma generalizada, siendo Francia y el Reino Unido los únicos países de la UE-28 que informan de la producción de energía primaria generada por esta fuente en 2015.



Las fuentes de energía de las mareas, las olas y los océanos incluyen:

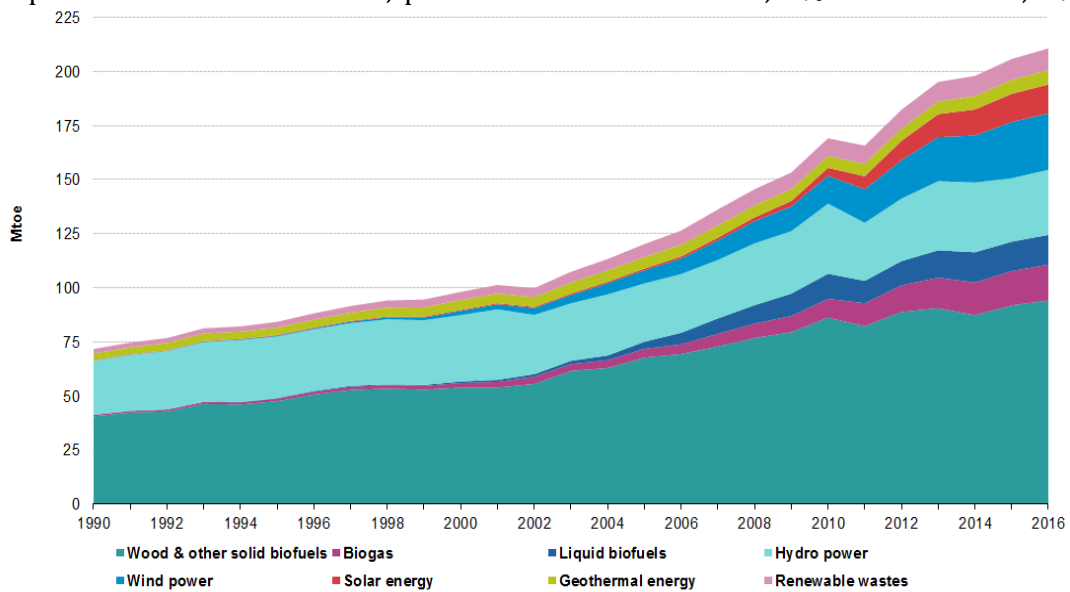
- Energía mareomotriz: la energía potencial de las mareas debido a su subida y bajada puede aprovecharse construyendo una presa u otras formas de construcción a través de un estuario.
- Corrientes marinas: la energía cinética asociada a las corrientes marinas puede aprovecharse mediante sistemas modulares.
- Energía de las olas: la energía cinética y potencial asociada a las olas del océano puede aprovecharse para una serie de tecnologías en desarrollo.
- Gradientes de temperatura: el gradiente de temperatura entre la superficie del mar y las aguas profundas puede aprovecharse mediante diferentes procesos de conversión de energía térmica oceánica (OTEC, por sus siglas en inglés).
- Gradientes de salinidad: en la desembocadura de los ríos, donde el agua dulce se mezcla con la salada, se puede aprovechar la energía mediante el proceso de ósmosis inversa retardada por presión y las tecnologías de conversión asociadas.

*Evolución de las energías renovables en la UE*

Las fuentes de energía renovables incluyen la energía eólica, la energía solar (térmica, fotovoltaica y concentrada), la energía hidráulica, la energía mareomotriz, la energía geotérmica, los biocombustibles y la parte renovable de los residuos.

El uso de las energías renovables tiene muchos beneficios potenciales, como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la diversificación de los suministros de energía y la reducción de la dependencia de los mercados de combustibles fósiles (en particular, el petróleo y el gas). El crecimiento de las fuentes de energía renovable también puede tener el potencial de estimular el empleo en la UE, a través de la creación de puestos de trabajo en las nuevas tecnologías «verdes».

Las energías renovables han crecido mucho en la UE en los últimos años. Más concretamente, la proporción de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía casi se ha duplicado en los últimos años, pasando de alrededor del 8,5 % en 2004 al 17,0 % en

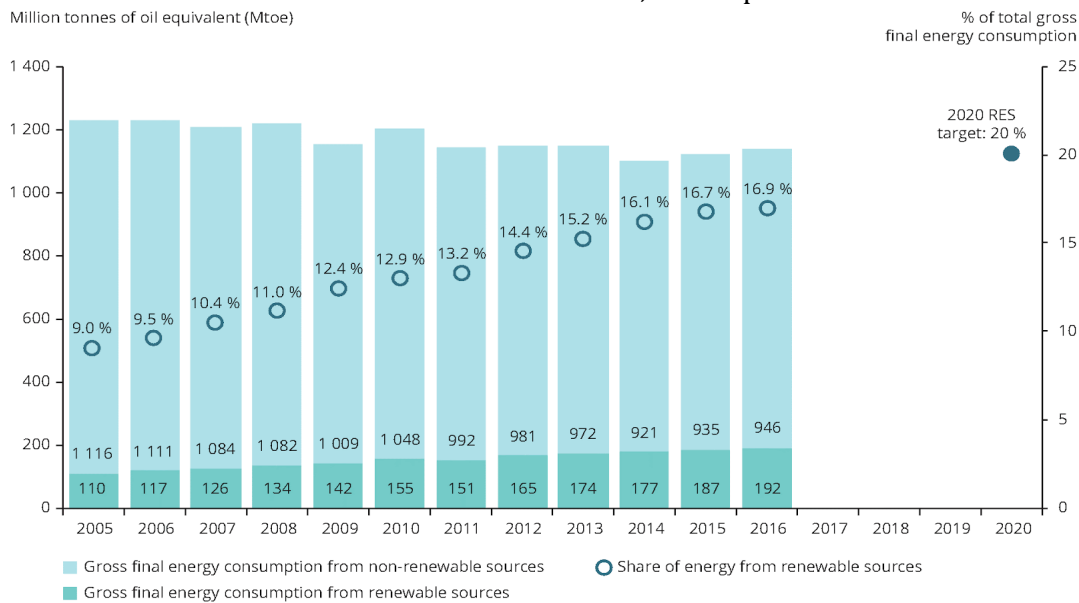


2016.

Esta evolución positiva ha sido impulsada por los objetivos jurídicamente vinculantes para aumentar la cuota de energía procedente de fuentes renovables promulgados por la Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. Aunque la UE en su conjunto está en vías de cumplir sus objetivos para 2020, algunos Estados miembros tendrán que hacer esfuerzos adicionales para cumplir sus obligaciones en lo que respecta a los dos objetivos principales: la cuota global de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía y la cuota específica de energía procedente de fuentes renovables en el transporte.

### *Efectos estimados del consumo de FER*

En 2015, el consumo adicional de energía renovable, comparado con el nivel de consumo final bruto de FER en 2005, permitió a la UE:



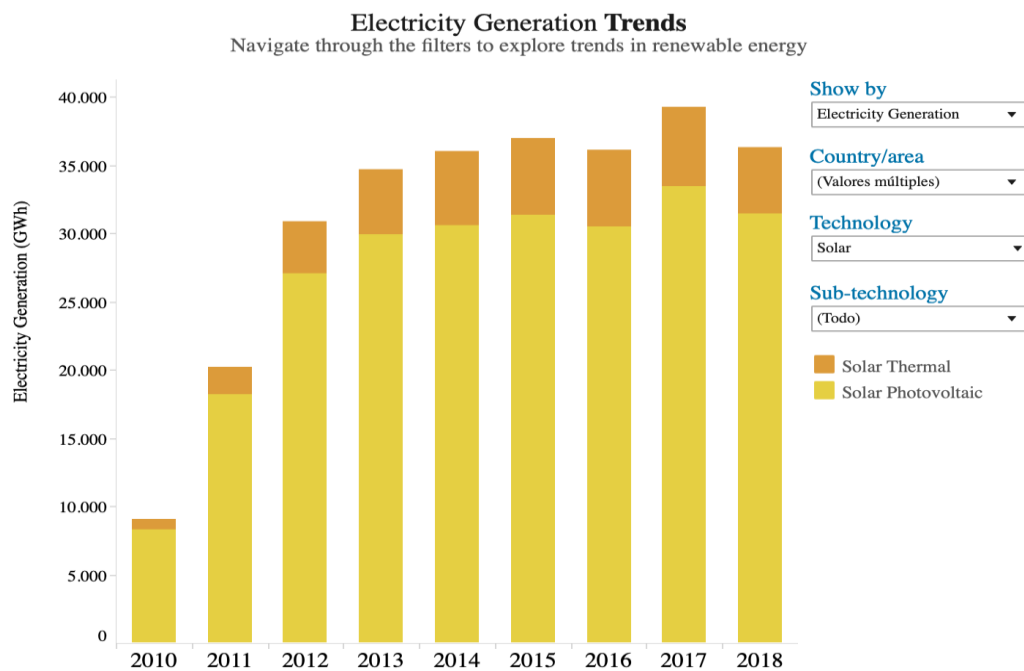
- Reducir las emisiones totales de GEI en 447 MtCO<sub>2</sub>, lo que equivale al 9% de las emisiones totales de GEI de la UE.
- Reducir su demanda de combustibles fósiles en 135 Mtep, lo que equivale aproximadamente al 10% del consumo interior bruto de combustibles fósiles a nivel de la UE.
- Reducir su consumo primario en 36 Mtep, lo que equivale a una reducción del 2% del consumo de energía primaria en toda la UE.

## Energía solar fotovoltaica

Según fuentes de Eurostat, en 2008, la energía solar sólo representaba el 1% de la energía creada en Europa por las energías renovables. Debido a su aplicabilidad en diferentes entornos, ha pasado «de sólo 7,4 TWh en 2008 a 125,7 TWh en 2019» (Estadísticas de energías renovables, 2020).

La energía solar, como su nombre indica, proviene del sol, convirtiendo la luz solar en electricidad (Comisión Europea, 2021). Este tipo de energía renovable «es la fuente de energía renovable más limpia y abundante que existe» (Asociación de Industrias de la Energía Solar) y puede utilizarse para generar electricidad y calefacción, dependiendo de la tecnología utilizada. En este sentido, hay tres formas principales de producir energía: la fotovoltaica, la de calefacción y refrigeración solar y la de concentración solar. Cada método funciona de forma diferente, pero el resultado es

la creación de electricidad o calefacción/refrigeración:



- Fotovoltaica (FV): utiliza células solares ensambladas en paneles solares para transformar la luz del sol en energía por efecto fotovoltaico. Se «instala en el suelo, en tejados o flotando en presas o lagos» (Comisión Europea, 2021).
- Calefacción y refrigeración solar (SHC): recoge la energía térmica del sol y proporciona agua caliente, calefacción de espacios, refrigeración y calefacción de piscinas (*Solar Energy Association Industries*).
- Energía solar concentrada (CSP): utiliza espejos para concentrar la luz solar. Al hacerlo, produce calor y vapor que posteriormente generan electricidad.

En las siguientes líneas, el documento se centrará en la aplicación de estos tipos de energía solar específicamente para situaciones agrícolas.

### *Componentes de las instalaciones fotovoltaicas*

Las instalaciones fotovoltaicas transforman la radiación solar a través de un campo de colectores (PF o panel fotovoltaico). Este campo de colectores está siempre equipado con baterías u otras tecnologías, para transformar la radiación en energía generada por los paneles.

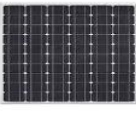

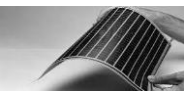
Existen diferentes tipos de componentes que pueden variar en función del tipo de instalación, su uso y sus objetivos. Los componentes más comunes de una instalación fotovoltaica son:

- Panel fotovoltaico
- Estructuras de soporte para los paneles fotovoltaicos
- Regulador/Maximizador
- Baterías
- Inversores de potencia
- Panel fotovoltaico

En general, los paneles fotovoltaicos están formados por células individuales, conocidas como células solares. Las células solares son las encargadas de generar electricidad. Una combinación

de células solares crea un panel solar y se utiliza para transformar la energía solar en electricidad (tensión). Por lo general, el número mínimo de células solares que forman un panel solar es de 36, pero su tamaño puede variar en función de la finalidad de la aplicación.

Últimamente, el tipo más común de paneles fotovoltaicos son las células monocristalinas, ya que son más eficientes y la diferencia de precio entre las policristalinas se ha reducido en los últimos años. No obstante, también hay otros tipos que se utilizan, como los paneles solares policristalinos y los de película fina amorfa. A continuación, una breve definición de estas tres células fotovoltaicas:

Células fotovoltaicas más comunes	
<p>Silicio monocristalino</p> 	<p>Una célula fabricada con un solo cristal de silicón proporciona entre un 14 y un 21% de eficiencia. Cuando se utiliza la mayor eficiencia, se necesita la menor superficie para obtener la misma potencia. Hoy en día, la relación es de unos 225W/m<sup>2</sup>.</p>
<p>Silicio policristalino</p> 	<p>Un tipo de célula que solía ser más barata que el silicio monocristalino (hoy en día los precios están más equilibrados), fabricada con una serie de cristales azules de silicón de diferentes tonalidades, con una eficiencia de entre el 12 y el 18 % y que alcanza una potencia máxima en superficie de 175W/m<sup>2</sup>.</p>
<p>Silicio amorfo</p> 	<p>La forma no cristalina de la silicón también se llama paneles de película fina que se utilizan como depósitos en diferentes superficies, el panel flexible que se puede utilizar en superficies curvas o irregulares. Y generan una eficiencia entre el 6-10 %.</p> <p>Células CIS y CISG</p> <p>Células utilizadas en los paneles solares de capa fina, fabricadas con cobre, indio, seleniuro y galio. Junto con el silicio amorfo, es una de las tres tecnologías fotovoltaicas de capa fina más importantes (hay una tercera llamada telurio de cadmio). Las capas de CISG son flexibles y normalmente utilizan técnicas de deposición a alta temperatura, pero para aprovechar al máximo su rendimiento es mejor utilizarlas en células depositadas sobre vidrio. Aunque este tipo de célula supera al polisilicio a nivel de célula, su eficiencia en el módulo es menor debido a una menor madurez en el escalado.</p>

### Estructuras de soporte para paneles fotovoltaicos

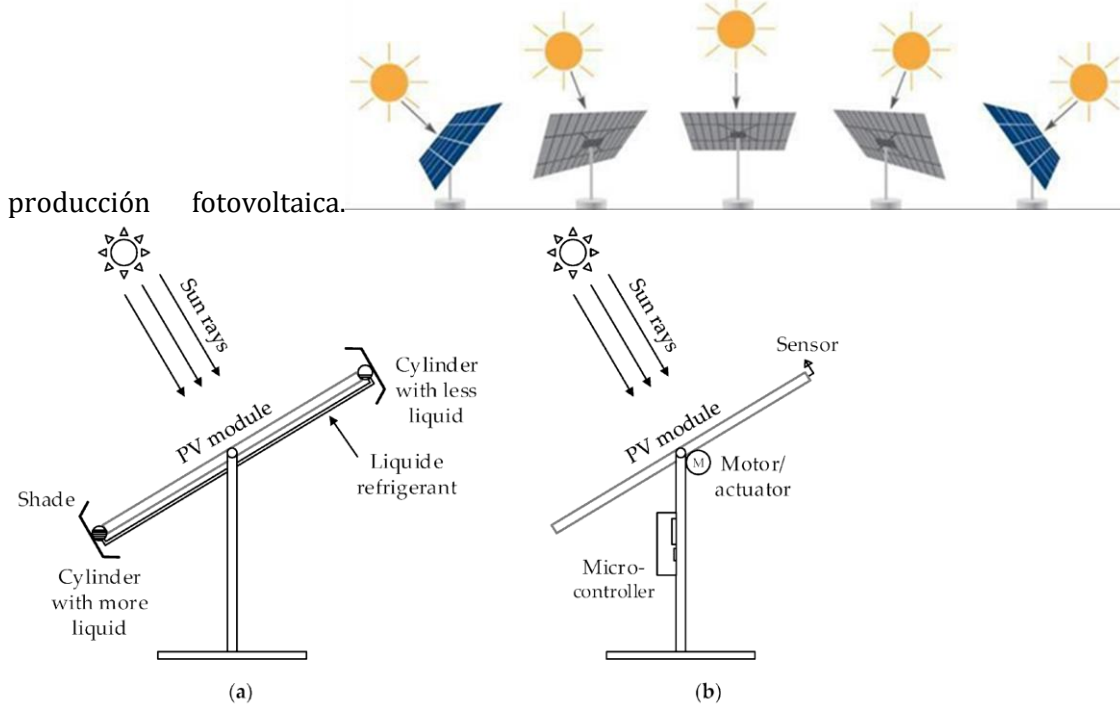
El módulo fotovoltaico se apoya y obtiene la inclinación necesaria para obtener la máxima eficiencia mediante una estructura. La estructura también se encarga de fijar los módulos fotovoltaicos contra las ráfagas de viento y de soportar la interconexión del cableado.

Se fabrica en aluminio anodizado (más fácil de transportar y pesa menos), o en acero galvanizado.

Hay diferentes tipos de estructura que soportan el panel solar:

- Estructura de seguimiento del sol: es el tipo de estructura que puede seguir un eje con el movimiento a lo largo de un eje, o dos ejes para cambiar la inclinación del panel. Este tipo

de estructura es la más eficiente porque puede alcanzar hasta el 40% de la eficiencia de



- Estructura fija: es el tipo de estructura que está anclada y asegurada en su lugar. Puede ser coplanar o inclinada.
  - Estructura coplanar: se sitúa en paralelo a la superficie de los paneles instalados para optimizar su integración. Se recomienda dejar un espacio de ventilación de los paneles entre la superficie y la estructura.



- Estructura inclinada: tipo de estructura que puede cambiar la inclinación del ángulo de instalación manualmente desde dos posiciones para conseguir la inclinación ideal para la instalación.



Reguladores y maximizadores

- Reguladores: equipos electrónicos que suelen tener una tensión de entrada de 12, 24 o 48V, que controlan y estabilizan la carga de la batería para que no sea demasiado baja o demasiado alta, optimizando su vida útil.
- Maximizadores (seguimiento del punto de máxima potencia – MPPT): son equipos controladores de carga de nuevas tecnologías (convertidores de potencia), utilizados para analizar y comparar el flujo de energía de los paneles fotovoltaicos con su algoritmo interno y alcanzar el mejor aprovechamiento de los mismos, pudiendo llegar incluso a una tensión de entrada de 150cc.

### Baterías

La batería es un sistema de recipiente que puede almacenar la energía de una fuente. La tecnología sigue innovando, y hoy en día existen diferentes tipos de baterías especialmente para el uso en el área de las energías renovables, por lo que podemos describir:

- Batería monobloque: es una batería económica de bajo mantenimiento que puede alcanzar hasta 400 ciclos al 75 % de descarga. Suelen utilizarse con poca demanda en caravanas, barcos o casas de fin de semana.
- Baterías monobloque de gel y AGM: son el tipo de baterías que durante su funcionamiento no emiten gases, son de baja autodescarga y pueden mantener la carga durante 6 meses, por lo que pierden menos capacidad durante su vida útil debido a su menor sulfatación. Las baterías monobloque de gel y AGM son el tipo de batería perfecto para los barcos, las caravanas y las instalaciones solares porque son más bajas.
- Baterías monobloque semiestacionarias: tipo de baterías que suelen utilizarse en energía solar y en aplicaciones de alto ciclo, tienen dos modelos diferentes en este tipo de baterías: placa plana o placa tubular, la única diferencia entre ambas es que la tecnología de placa tubular duplica la vida útil de la tecnología de la placa plana.
- Baterías CPZS: baterías comercializadas con celdas de 2V que contienen un polipropileno opaco que les da la capacidad de resistir descargas profundas y pueden alcanzar una vida útil de 3000 ciclos al 50% de descarga.
- Baterías OPZS: son las más recomendadas para instalaciones solares fotovoltaicas, el nivel de electrolito que es visible a través de su pared ayuda al bajo mantenimiento de estas baterías. Pueden perder la mitad de su vida útil si no se utilizan adecuadamente en el tamaño recomendado, pero normalmente están preparadas para descargas profundas de hasta 3000 ciclos al 50%.
- Baterías OPZV: baterías de placa tubular con electrolito delante en forma de gel. Este tipo de baterías se puede instalar en cualquier posición, con mayor eficiencia en su vida útil debido al bajo nivel de sulfato. Las OPZV son las baterías recomendadas cuando el agua es incontrolable y para las instalaciones de comunicaciones. Tienen una mayor eficiencia energética y son más caras que las baterías OPZS.
- Baterías de níquel-hierro: baterías renovables que pueden durar 7 u 8 años debido al electrolito de hidróxido de potasio. Son baterías de larga duración que fueron patentadas por William Edison en el siglo XX para ser utilizadas principalmente en coches electrónicos.
- Batería de iones de litio: este tipo de baterías ha evolucionado mucho en los últimos años. Actualmente son muy utilizadas en la fotovoltaica, ya que han aumentado su vida útil con una garantía de 10 años aproximadamente. Permiten alrededor de 6000 ciclos (número de cargas) y no requieren mantenimiento. Además, tienen una gran capacidad de almacenamiento y una baja relación peso-volumen.

### Inversor de corriente



Los inversores de potencia son equipos que se utilizan para transformar la corriente continua de la batería o directamente de los paneles fotovoltaicos, a una corriente alterna a tensión y frecuencia de red.

Se pueden encontrar dos tipos de inversores:

- Inversor de conexión a red: este tipo de inversores necesitan la señal de la red para transformar la energía generada al mismo ritmo en la red. Pueden variar la potencia actual desde 20-300W para los inversores imbuidos en los módulos fotovoltaicos hasta los inversores medianos y centrales que pueden alcanzar más de 100kW.
- Inversores autónomos: estos tipos de inversores se limitan a transformar la energía en los valores preseleccionados, entre estos inversores. Podemos distinguir 3 tipos diferentes:
  - Inversores de onda cuadrada: son inversores que sólo pueden utilizarse para alimentar un televisor, un ordenador o pequeños aparatos eléctricos, ya que son menos eficientes que los demás y no son adecuados para los motores de inducción debido a los demasiados armónicos que producen y que provocan interferencias.
  - Inversores de onda sinusoidal modificada: estos tipos de onda presentan mejor precio y calidad a la alimentación de la iluminación, la televisión o, han sido modificados para estar más cerca del seno.
  - Inversores de onda sinusoidal pura: son el tipo de inversores que necesitan una tecnología compleja, y producen una onda sinusoidal pura.

### *Tipos de instalaciones*

Existen tres tipos de instalaciones solares fotovoltaicas, en función del uso:

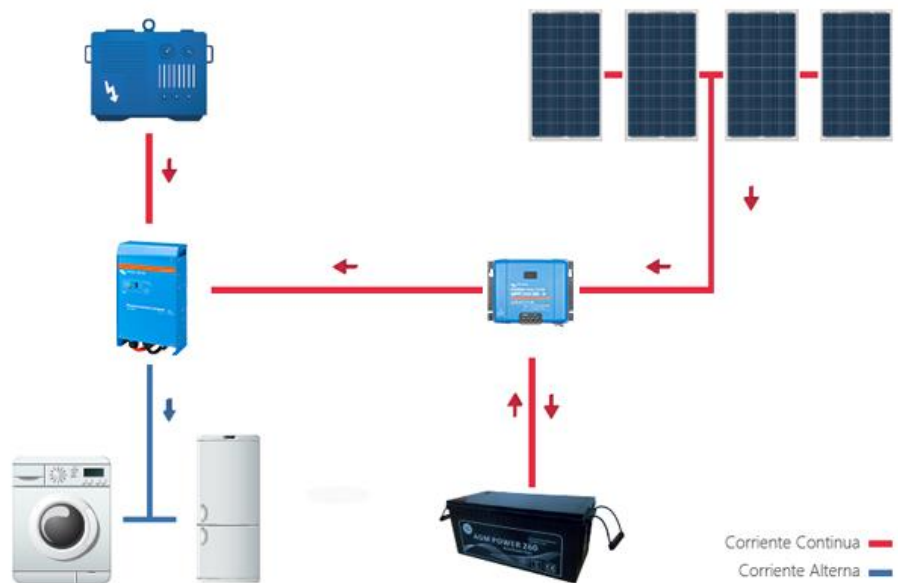
- **Aisladas**

Es el tipo de instalación de electrificación que se utiliza para casas aisladas, hoteles, industrias y zonas rurales. Se trata de una instalación en la que la energía generada y almacenada se destina a un uso diferente. Este tipo de instalaciones no están conectadas a la red de distribución. Esta instalación se encuentra en lugares donde es económicamente importante crear una red de distribución o donde no hay acceso a la red de distribución.

Los componentes de este tipo de instalación son:

- Panel fotovoltaico
- Regulador/ maximizador
- Banco de baterías
- Cargador inversor
- Generador auxiliar

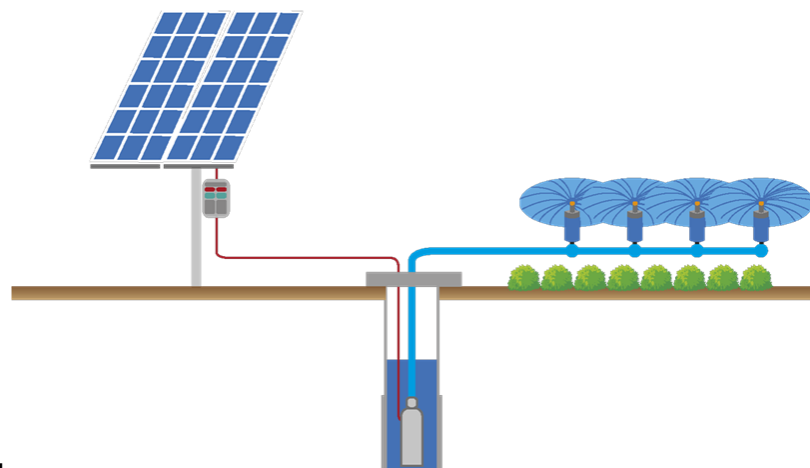




En este tipo de instalación, el regulador carga la batería con la energía generada por el panel o por la corriente continua, y se necesita un inversor para extraer la energía almacenada en la batería por el regulador.

También se utilizan en instalaciones que no necesitan almacenar energía para su uso, y funciona sólo donde hay una producción fotovoltaica como: bomba solar, riego solar, piscina, depuradora o equipo de ventilación.

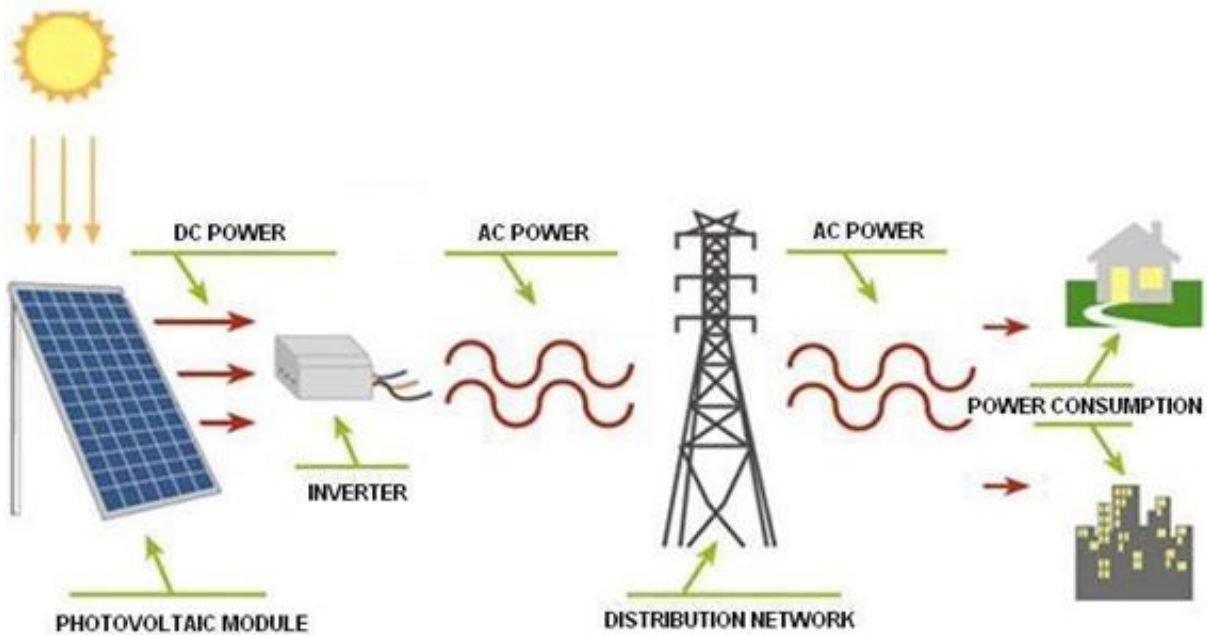
- **Bombeo y riego solar:** una instalación fotovoltaica para sistemas de riego o bombeo requiere un controlador para regular el caudal de riego o de bombeo a un depósito en función de la radiación existente (algunas bombas incorporan el controlador). En la actualidad es muy habitual el uso de variadores de frecuencia como controladores de bombes solares.
- **Depuración solar de piscinas:** un tipo de instalación en la que los paneles solares fotovoltaicos transfieren la energía generada directamente a un controlador de bombas para regular la corriente.



- **Instalación de red**

Tipo de instalación utilizada para el mercado eléctrico que es el tipo de instalación fotovoltaica que utiliza toda la energía generada a la red de distribución.

Este tipo de instalación sólo necesita: paneles solares fotovoltaicos y un inversor conectado a la red.

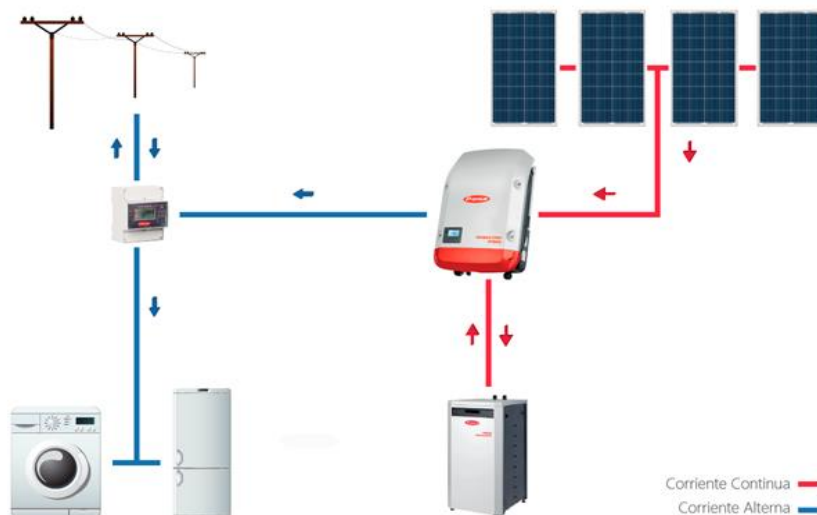


- **Instalación de autoconsumo fotovoltaico**

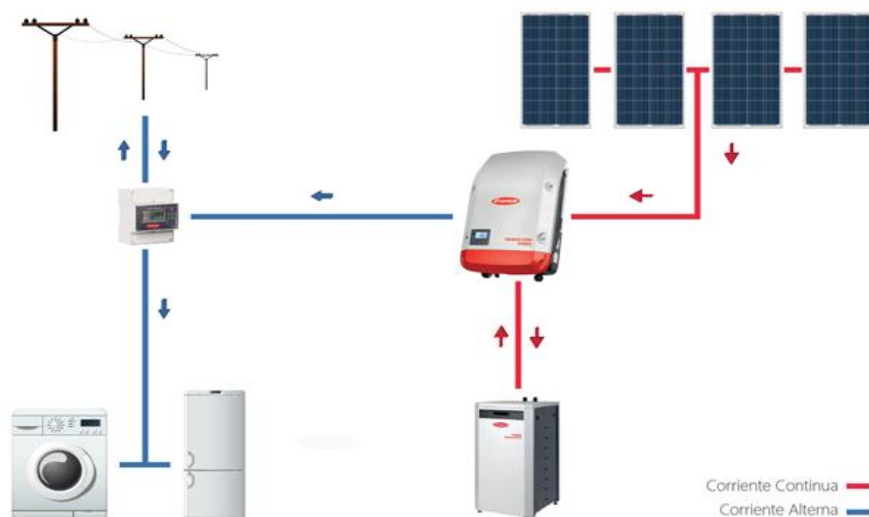
El autoconsumo fotovoltaico es el tipo de instalación que mezcla el sistema de conexión a la red y el sistema de instalación sin conexión a la red. Tipo de instalación que consume la energía necesaria y vierte el excedente de producción energética a la red.

Existen dos tipos de sistemas de autoconsumo:

- Autoconsumo directo: instalación fotovoltaica en la que la carga local consume directa e instantáneamente la energía generada por la instalación, y vierte el excedente de producción energética en la red.



- Autoconsumo con acumulación: instalación fotovoltaica en la que la carga o descarga de las baterías se gestiona mediante equipos adicionales y la producción de energía sobrante se descarga en baterías hasta que el tiempo sea más útil.



### Cálculos y diseño

Este subcapítulo sirve para conocer las bases de un correcto dimensionamiento del sistema fotovoltaico. Incluye el cálculo de las necesidades energéticas, las pérdidas del sistema y la dimensión de cada componente de la instalación. Estos conceptos son muy importantes para el funcionamiento óptimo y duradero del equipo.

- **Cálculo de las necesidades energéticas**

El consumo diario de energía es necesario a la hora de diseñar una instalación fotovoltaica. Por eso es necesario enumerar todos los equipos y el número diario de horas de funcionamiento en su uso.

Tabla 1. Consumo de energía de los diferentes equipos

Aparato	Consumo de energía (W)	Hora de funcionamiento/días
Frigorífico clase A+	80	10h
TV Led	70	3h
Lavadora	350	1.5h
Microondas	900	0.3h
Licuadora	200	0.25h
Ordenador	200	2h
Iluminación de la cocina/comedor	26 x 6 unidades	3h
Iluminación de la habitación	26	1h
Autoconsumo	4	24h

El cálculo de la potencia necesaria  $E_d$  (Wh), se obtiene multiplicando la potencia nominal  $P$  (w), por la hora de funcionamiento (h) o el equipo.

$$E_d \text{ (Wh)} = E (P \text{ (W)} \cdot h)$$

- **Pérdidas del sistema**

El ángulo de inclinación definido debe tenerse en cuenta al calcular la energía generada por el panel.

El *Performance Ratio* (PR), llamado rendimiento, es un 0,6 cuando hay un sistema de acumulación de baterías instalado, si es un 0,8 y hay acumulación del sistema de baterías, entonces es un sistema de generación directa.

Se calculan los ratios de rendimiento:

Pérd orient	=	Pérdidas debidas a la orientación (El valor de la orientación sur es 0)
Pérd suciedad	=	son las pérdidas por suciedad, es un 5% de los entornos de carga
Pérd sombra	=	son las pérdidas por sombra
Pérd cables	=	estimado en un 3%, son las pérdidas de cableado
Rend inver	=	estimado entre el 94-96%, es el rendimiento de los inversores, y se obtiene de las fichas técnicas
Rend reg	=	obtenido de las fichas técnicas, su suma se calcula en un 98% para un maximizador; es el rendimiento del regulador/maximizador
Rend bat	=	el rendimiento de la batería, calculado mediante la siguiente fórmula:
Pérd det	=	la pérdida debida a los paneles deteriorados, definida por la ficha técnica de los paneles, y es un 20% de la pérdida de los paneles

- **Dimensión del campo fotovoltaico**

Una vez conocida la energía diaria a suministrar y el sistema de pérdidas de energía, las características (tipo) de los paneles a instalar, (monocristalinos, policristalinos, amorfos) en función de la potencia pico nominal, ya podemos dimensionar el campo fotovoltaico.

Las bases de datos oficiales disponibles para cada país o región, determinan el área de irradiación de los paneles y también proporcionan la radiación en las superficies inclinadas de los paneles que se instalarán. En algunas de esas bases de datos se generan los valores totales de energía diaria y mensual. Por ejemplo, PVGIS (Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica), al intercalar el parámetro requerido, se puede calcular la producción fotovoltaica haciendo clic en la pestaña de radiaciones mensuales, y seleccionar la ubicación de la instalación de los mapas y hacer clic en «irradiación en el ángulo elegido: grados» en el lado derecho, para definir los ángulos instalaciones del panel.

La energía real que se utilizará se calcula multiplicando la eficiencia del sistema (ratio de rendimiento calculado con el EC.2) por esta irradiancia obtenida (H(45)).

- Para el HSP diario

La cantidad de tiempo de irradiación solar hipotética de 1000W/m<sup>2</sup>, conocida como horas de sol pico (HSP), comúnmente utilizada en los paneles solares fotovoltaicos, es el número equivalente a las horas de irradiación solar que se utilizan diariamente, y varía mensualmente según la zona de radiación.

- Para el HSP mensual

Por lo tanto, la potencia a instalar (Pi) para el mes (i), se obtiene dividiendo la energía necesaria para abastecer las cargas (Ed) por la PSH mensual.

Pi se divide entre las potencias máximas de los paneles seleccionados ( $W_p$ ), para hallar el número de paneles ( $n_p$ ) a instalar.

- **Cálculo del regulador o maximizador MPPT**

La corriente de carga caracteriza a los reguladores y maximizadores en la salida del regulador, y la tensión de salida en las baterías.

Dependiendo de si se trata de un regulador de carga o de un maximizador MPPT, se supone que la corriente de carga se calcula utilizando un método diferente. Se supone que las baterías del banco instalado son el regulador de salida o el voltaje del maximizador.

- **Cálculo del regulador**

Normalmente, se recomienda seleccionar un regulador que resista a una sobrecarga simultánea en:

1. La corriente de salida del regulador: debe ser al menos un 25% superior a la corriente de carga en condiciones de máximo consumo, y su fórmula es:

$I_{max\_cons}$  = la corriente de carga de máximo consumo, y se calcula dividiendo la potencia máxima demandada por la carga local, por la tensión de las baterías (tensión de salida del regulador).  
Su fórmula es:

2. La corriente de entrada del regulador: se calcula en un 25% para que sea superior a la corriente del generador de cortocircuito. Su fórmula es:

$I_{sc}$  = la corriente de cortocircuito del panel  
 $N_{pp}$  = el número de paneles en paralelo instalados en series

- **Cálculo del rendimiento de la batería**

Uno de los puntos más importantes en el sistema de energía fotovoltaica, es el rendimiento de las baterías que definirá la calidad de la corriente.

La capacidad que necesitan las baterías para abastecer el consumo de la instalación se puede calcular mediante la fórmula:

$C_{bat}[Ah]$	=	la capacidad necesaria de las baterías
$N$	=	días de autonomía, se puede alcanzar entre 2-5 días dependiendo de las necesidades y el uso
$E_d$	=	energía diaria que se necesita para la casa [Wh]
$V_{bat}$	=	la tensión [V] del banco de baterías
$DOD_{max}$	=	el máximo de descarga de la batería de muerte, y se puede tomar entre (60-80) para la batería de plomo-ácido

- **Cálculo del inversor**

Una vez conocida la capacidad de la batería, a través de esa fórmula se determina la capacidad del inversor que necesitamos para la instalación:

$P_{inv}[W]$  = la potencia del inversor que hay que instalar [W]  
 $P_{eqsim}$  = los equipos conectados simultáneamente [W]

## Agro-FV

### *Introducción a la Agro-FV*

El Pacto Verde Europeo establece una visión para lograr la neutralidad climática en 2050. Esto requerirá una profunda transformación de la sociedad y la economía europeas; en particular, de sus sectores energético y agroalimentario.

El Paquete de Energía Limpia (CEP, por sus siglas en inglés), adoptado por la Unión Europea en 2019, estableció un marco para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 40% para 2030, en parte alcanzando al menos un 32% de energía renovable en la demanda final de energía. En 2020, la Comisión Europea propuso la Ley Europea del Clima, que establecería un objetivo jurídicamente vinculante de cero emisiones netas de gases de efecto invernadero para 2050, además de objetivos más ambiciosos para 2030.

Desde 1962, la principal política en el ámbito de la agricultura a nivel de la UE es la Política Agrícola Común (PAC). La PAC proporcionó 58.820 millones de euros en ayudas a los agricultores en 2018 (Comisión Europea, 2020) a través de sus dos pilares: el primer pilar implica ayudas directas a los agricultores, y el segundo pilar tiene como objetivo el desarrollo rural sostenible. La Comisión Europea propuso en 2018 una revisión de la PAC para el periodo 2021-2027, que se está negociando actualmente. La revisión pretende modernizar y «ecologizar» la política agrícola de la UE, adaptándola al cambiante contexto agrícola, energético y de cambio climático.

En este marco, la fotovoltaica agrícola (Agro-FV o Agrovoltaica) ofrece una oportunidad para realizar simultáneamente el Pacto verde europeo, cumplir los objetivos de descarbonización de la UE y alcanzar los objetivos de la PAC.

El principio en el que se basa la Agro-FV es sencillo: la combinación inteligente de una infraestructura agrícola con una instalación fotovoltaica. Esta combinación abre una serie de aplicaciones disruptivas que aprovechan las sinergias entre la energía solar y la agricultura. La Agrovoltaica permite combinar la energía solar con actividades rurales y agrícolas específicas, proporcionando soluciones a las necesidades de los agricultores y las comunidades rurales mediante el impulso de las inversiones y la creación de puestos de trabajo en las zonas rurales, el apoyo a las prácticas agrícolas tradicionales y sostenibles, o el aumento de la resiliencia climática de las actividades agrícolas.

La UE tiene un papel clave para promover las múltiples sinergias entre la agricultura y la generación de electricidad solar que permiten los sistemas agrivoltaicos. Instalada directamente sobre los cultivos, la energía solar proporciona sombra, protege los cultivos contra el granizo o las heladas, permite un rendimiento estable de los cultivos y aumenta el rendimiento eléctrico de los paneles fotovoltaicos (Barron - Gafford, 2019). La energía solar puede instalarse en hangares agrícolas o en invernaderos y puede apoyar el desarrollo de infraestructuras modernas que mejoren la competitividad del sector agrícola. Las granjas solares a escala de servicios públicos proporcionan el escenario perfecto para que pasten las ovejas (Kochendoerfer et al, 2019). En general, ya ha habido un gran número de métodos de integración de la energía solar en la infraestructura agrícola, con innovaciones que aparecen regularmente en el mercado. Las políticas públicas deberían impulsar el despliegue de los sistemas Agro-FV establecidos, apoyando al mismo tiempo las soluciones Agro-FV innovadoras.

Se ha estimado que el despliegue de Agro-FV en solo el 1% de las tierras de cultivo mundiales podría ayudar a satisfacer la demanda total de energía mundial (Adeh, Good, Calaf y Higgins, 2019). Desde 2014, se han desplegado alrededor de 2.800 sistemas Agro-FV en todo el mundo, con una capacidad total de unos 2,9 GWp (Bay War.e.). El sector ha experimentado un crecimiento significativo en Japón, Corea del Sur y China, donde los marcos normativos y los planes de apoyo ya están en marcha desde hace varios años (Schindele et al, 2020).

El potencial de la Agro-FV en Europa es enorme: la capacidad técnica, si la Agro-FV se desplegara en solo el 1% de la tierra cultivable de la UE (Comisión Europea, 2018), es de más de 700 GW. Sin embargo, el desarrollo de la Agrovoltaica en Europa está fragmentado entre los Estados miembros de la UE. Este progreso podría establecer la industria solar europea como líder mundial en este segmento de mercado de rápido crecimiento.

Para que la UE alcance su potencial y se convierta en un líder mundial en el sector de la agrovoltaica, es necesario un marco europeo que impulse el crecimiento del sector. En este informe, pretendemos destacar las sinergias entre la agrovoltaica y las políticas de la UE sobre desarrollo rural sostenible, el futuro del sector agroalimentario, la adaptación al cambio climático y la descarbonización de las islas. Además, ofrecemos recomendaciones políticas concretas que pueden ser adoptadas por los responsables políticos y de la toma de decisiones que trabajan en el tema de la agricultura, la energía, el clima y el medio ambiente, a nivel de la UE, nacional, regional y local.

### *Permitir el desarrollo sostenible en las zonas rurales*

Además de la plena aplicación de del paquete de energía limpia (CEP, por sus siglas en inglés), y en concreto de la Directiva de Energías Renovables (Unión Europea, 2018), la Unión Europea y sus Estados miembros deberían fomentar el desarrollo de la Agrovoltaica en Europa a través de al menos cuatro iniciativas políticas:

1. La revisión de la PAC: la agro-voltaica puede permitir la consecución de los objetivos de la PAC. El segundo pilar de la PAC debería promover el despliegue de la agrovoltaica y los Estados miembros deberían incluir planes de desarrollo de la agro-voltaica en sus planes estratégicos de la PAC.
2. La aplicación de la estrategia «de la granja a la mesa»: La agroindustria puede estar en el centro de un sistema alimentario moderno, sostenible, saludable y equitativo. La aplicación horizontal de la estrategia «del campo a la mesa» debe integrar las diversas contribuciones de la agroindustria para aumentar la sostenibilidad, mejorar la resiliencia e impulsar la innovación en el sector agroalimentario.
3. La revisión de la estrategia de adaptación al cambio climático de la UE: las soluciones Agro-FV contribuyen a la resiliencia climática de las prácticas agrícolas. La Estrategia de Adaptación al Cambio Climático revisada de la UE debería proporcionar un apoyo específico a las soluciones Agro-PV que mejoren la resiliencia de la agricultura al cambio climático.
4. La iniciativa «Energía limpia para las islas de la UE»: las regiones con escasez de suelo son especialmente adecuadas para el despliegue de la agrovoltaica. Las islas de la UE deberían integrar los planes de despliegue de la agrofábrica para apoyar la seguridad alimentaria y energética en sus programas de transición hacia la energía limpia.

### *Agro-FV y el futuro de los objetivos de la PAC*

Uno de los objetivos principales del Pacto Verde Europeo es garantizar que la PAC revisada refleje plenamente las ambiciones climáticas de la UE. Esto se logrará en parte garantizando que al menos el 40% del presupuesto global de la PAC contribuya a la acción climática. Además, la PAC incluye financiación y medidas de apoyo al desarrollo rural, el «segundo pilar». En el presupuesto 2014-2020, el instrumento de financiación del segundo pilar, el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER), contaba con un presupuesto de unos 100.000 millones de euros.

La propuesta de la Comisión sobre la PAC pretende modernizar la gobernanza y la ejecución del segundo pilar estableciendo objetivos claros y dejando que los Estados miembros elaboren sus

propias estrategias de desarrollo rural sostenible. La Comisión ha propuesto 9 objetivos específicos (véase la figura 1) que «se centran en la viabilidad económica, la resiliencia y la renta de las explotaciones, en un mayor rendimiento medioambiental y climático, y en el fortalecimiento del tejido socioeconómico de las zonas rurales» (Comisión Europea, 2018). Los Estados miembros de la UE están elaborando actualmente «planes estratégicos de la PAC» que detallarán las intervenciones que llevarán a cabo para alcanzar estos objetivos, que se financiarán con fondos del FEADER. Estos planes serán evaluados por la Comisión Europea e incluirán objetivos concretos y serán objeto de informes anuales por parte de los Estados miembros.

En consonancia con los objetivos de la futura PAC, los Estados miembros de la UE deberían integrar la agroindustria en sus planes estratégicos de la PAC. Al hacerlo, se impulsarán las inversiones en las comunidades rurales, se ofrecerán oportunidades de empleo en las zonas rurales, se contribuirá a la resistencia de las prácticas agrícolas, se aumentará la eficiencia del uso de la tierra y se mejorará la gestión del agua, además de permitir la consecución de los 9 objetivos de la PAC.

*¿Cómo contribuye Agro-FV a los objetivos de la PAC?*



#EUBudget #FutureofCAP

La variedad de aplicaciones a las que se dirige la Agro-FV da lugar a múltiples beneficios que contribuyen a los objetivos de la PAC mencionados anteriormente.

### 1. Inversiones solares para la agricultura

- Objetivos 1, 2, 7, 8

Los ingresos de los agricultores de la UE siguen siendo significativamente inferiores a los ingresos medios de muchos Estados miembros (Comisión Europea, 2018). El sector Agro-FV genera



inversiones que apoyan la competitividad del sector agrícola a través de la modernización de las explotaciones y los equipos. Tanto los agricultores individuales como las cooperativas de agricultores pueden beneficiarse del despliegue de Agro-FV, que se ha demostrado que aumenta los ingresos de las explotaciones en más del 30% (Dinesh y Pearce, 2016).

Existen diferentes modelos en función de la propiedad del sistema Agro-FV. Los promotores de Agro-FV pueden actuar como «inversores terceros», en los que desarrollan un proyecto sin coste alguno para los agricultores. Los promotores reciben una remuneración por la venta de electricidad renovable, mientras que los agricultores se benefician de nuevas infraestructuras agrícolas, como nuevos espacios de almacenamiento local o sistemas duraderos de protección de cultivos, que aumentan la productividad de las explotaciones, o de un complemento de ingresos en forma de alquileres pagados por el uso de sus tierras.

Los agricultores también pueden invertir y contratar a un promotor de Agro-FV para desarrollar un sistema de Agro-FV. En este modelo, los agricultores deben contribuir a los costes de inversión asociados al proyecto. A continuación, se benefician de una reducción de la factura energética si autoconsumen la electricidad y de un complemento de ingresos estable si inyectan la energía en la red.

## **2. Puestos de trabajo con energía solar para las comunidades rurales**

- Objectives 6, 8

El desempleo en las comunidades rurales, específicamente para los jóvenes, es un reto importante. Entre 2015-2017, la tasa media de desempleo de los jóvenes en las zonas rurales fue del 18% (Comisión Europea, 2019). Además, la población rural está disminuyendo en toda la UE. Entre 2013- 2017, aproximadamente 500.000 personas abandonaron las zonas rurales en favor de centros urbanos más grandes (Comisión Europea, 2019). La industria solar estimula el tejido social y económico de las zonas rurales, genera nuevas oportunidades de empleo y diversifica la estructura económica de las comunidades rurales.

La energía solar crea más puestos de trabajo por megavatio de potencia generada que cualquier otra fuente de energía (*Solar Power Europea*, 2019). El desarrollo de proyectos agrovoltaicos apoya el empleo en las actividades posteriores del sector fotovoltaico, como la instalación, la ingeniería o las operaciones y el mantenimiento de las instalaciones agrovoltaicas.

La modernización de las infraestructuras rurales y el aumento de la productividad de las explotaciones hacen que las comunidades rurales sean más dinámicas. Cuando una instalación de Agro-FV sustituye a una infraestructura temporal (por ejemplo, un invernadero de plástico), puede contribuir a estabilizar las oportunidades de empleo y reducir la estacionalidad de los trabajadores.

## **3. Cultivos de protección solar**

- Objetivos 2, 3, 4, 9

La agricultura es especialmente vulnerable al cambio climático. El aumento de las temperaturas, la escasez de agua, las nuevas plagas o los fenómenos meteorológicos extremos ponen en peligro la resiliencia de nuestros sistemas agroalimentarios. Además, la superficie cultivada en invernaderos está aumentando en la UE, lo que tiene diversos impactos ambientales según el tipo de invernadero utilizado (EIP-Agri, 2019). Agro-FV aborda ambos retos, aumentando la resiliencia climática de la agricultura y mejorando la sostenibilidad de los invernaderos.

El despliegue de energía solar sobre los cultivos ofrece sinergias que aumentan la resiliencia climática de la agricultura. Los entornos de las tierras secas son especialmente adecuados para las instalaciones Agro-FV, ya que permiten sinergias entre la producción de determinados cultivos, la conservación del agua y la producción de energía renovable, además de proporcionar servicios ecosistémicos locales (Barron-Gafford et al, 2019). Las instalaciones de Agro-FV también ofrecen

la oportunidad de desplegar medidas físicas de control de plagas, reduciendo la necesidad de utilizar productos químicos de control de plagas.

Agro-FV crea un caso de negocio para sustituir el plástico de los invernaderos de bajo coste y para proporcionar electricidad limpia a los invernaderos de alta tecnología. En el primer caso, el plástico se sustituye por materiales más duraderos, y los costes añadidos se compensan con la generación de electricidad limpia. En el segundo caso, el alto consumo energético de la calefacción, la refrigeración y el mantenimiento de complejos servicios digitales puede satisfacerse con electricidad autoproducida.

#### **4. Un uso más eficiente del suelo**

- Objetivos 4, 5, 6

Entre 2000 y 2017 se perdieron unas 80.000 hectáreas de tierras agrícolas al año (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2019). La pérdida de tierras agrícolas se atribuye principalmente al abandono de tierras, y el sellado de tierras supone un riesgo para la resiliencia climática. Para hacer frente a esto, la Comisión Europea propuso en 2011 establecer un objetivo de «toma de tierra neta cero» (Comisión Europea, 2011). La fotovoltaica agrícola permite un doble uso de la tierra, reduciendo la ocupación de tierras y minimizando la competencia entre la agricultura y las energías renovables.

Las soluciones agrovoltaicas sobre los cultivos pueden mejorar la productividad por hectárea, reduciendo al mismo tiempo la degradación del suelo y el uso del agua. La productividad se incrementa mediante el uso de sistemas de seguimiento dinámico que pueden regular la sombra proporcionada a los cultivos (Valle et al, 2017).

#### **5. Energía solar para mejorar la gestión del agua**

- Objetivos 1, 2, 4, 5, 6

La agricultura, la silvicultura y la pesca representan la mayor parte del consumo de agua en la UE, ya que representan aproximadamente el 40% de los recursos hídricos en 2015 (Comisión Europea, 2019). La gestión sostenible de los escasos recursos hídricos será esencial para mantener las prácticas agrícolas en la UE. Agro-FV contribuye a disminuir las necesidades de agua de la agricultura protegiendo los cultivos del calor y reduciendo la evapotranspiración (Barnon-Gafford et al, 2019).

El suelo bajo la sombra de los paneles fotovoltaicos mantiene la humedad del suelo, proporcionando las condiciones ideales para ciertos tipos de cultivos (Ibid). El consumo de agua puede optimizarse aún más con soluciones Agro-FV digitalizadas que pueden seguir la irradiación solar y regular mejor las condiciones microclimáticas bajo los paneles solares. Además, la energía solar puede utilizarse para impulsar el bombeo de agua subterránea para el riego, sustituyendo a los generadores diésel.

### *Integración de la agro-electricidad en los planes estratégicos de la PAC*

Deben aprovecharse las sinergias entre la agroindustria fotovoltaica, los objetivos de la futura PAC y los objetivos climáticos y energéticos de la UE. Para ello, se necesitan mecanismos de apoyo adecuados que estimulen las inversiones privadas en el sector de la agrovoltaica. Alcanzar un nivel suficiente de inversiones generará las economías de escala necesarias para impulsar la competitividad del sector agrovoltaico europeo.

En la futura PAC debería formalizarse una «estrategia europea de agrovoltaica». Esta estrategia debería impulsar el despliegue de los sistemas Agro-FV establecidos, promover el liderazgo de la UE en la innovación tecnológica Agro-FV, mejorar la productividad del sector agrícola y permitir el despliegue de recursos energéticos renovables en las zonas rurales. Diseñada en estrecha colaboración con los expertos agrícolas, una estrategia de Agro-PV debe tener como objetivo

permitir la transición energética limpia en las zonas rurales, basándose en los objetivos de la PAC y de la Estrategia de Integración del Sistema Energético (Comisión Europea, 2020).

A nivel nacional, las inversiones en energía solar deberían ser prioritarias dentro de los Planes Estratégicos de la PAC, tal y como se destaca en la Estrategia «de la granja a la mesa». La Comisión Europea debería dar orientaciones claras a los Estados miembros sobre cómo sus Planes Estratégicos de la PAC pueden maximizar el despliegue de la agrovoltaica, en línea con sus Planes Nacionales de Energía y Clima.

Más allá de esto, los Estados miembros deberían incluir planes para desarrollar marcos reguladores de Agro-PV como parte de sus Planes Estratégicos de la PAC. Varios países y regiones subnacionales de todo el mundo ya han desarrollado marcos normativos para la agrovoltaica. Entre ellos se encuentran Japón, Corea del Sur, China, Francia y Massachusetts (Schindele et al, 2020). En los Países Bajos, Suiza, Austria, Alemania, India y California se están desarrollando marcos normativos para la agro-física.

A la hora de diseñar los marcos normativos para apoyar el desarrollo de la agrovoltaica, los responsables políticos deberían centrarse en 6 acciones concretas:

1. Poner en marcha mecanismos financieros específicos para apoyar la agrovoltaica a pequeña, mediana y gran escala a través de subvenciones, tarifas de alimentación agrovoltaica (FiT) y licitaciones de energía agrovoltaica, respectivamente.
2. Diseñar un marco propicio para la agro-fábrica, garantizar que los agricultores que instalen sistemas de agro-fábrica reciban subvenciones de la PAC y promover la agro-fábrica dirigida por la comunidad.
3. Desarrollar índices Agro-FV que capturen las externalidades agro-económicas, medioambientales y sociales de los sistemas Agro-FV.
4. Establecer criterios claros y sólidos de evaluación de la calidad de los proyectos agrovoltaicos y garantizar una evaluación independiente y periódica de la sostenibilidad de los proyectos.
5. Garantizar que los marcos de la agroindustria sean coherentes con las políticas de energía, agricultura, medio ambiente y clima, y que su desarrollo sea un proceso participativo que involucre a todas las partes interesadas.
6. Dar prioridad a la financiación pública de la I+D hacia programas de investigación que apoyen la transición energética en las zonas rurales.

### *Agricultura sostenible y fotovoltaica*

La Agrosolar puede acelerar la transición hacia un sistema agrícola sostenible que contribuya a los objetivos europeos del Pacto verde, en particular los de la Ley Europea del Clima, la Directiva de Energías Renovables, la PAC, la Estrategia de Biodiversidad y la Estrategia «de la granja a la mesa». En concreto, la Agrosolar puede:

#### **1. Contribuir a un uso responsable de los recursos naturales como la tierra y el agua**

Los proyectos Agrosolares son una forma responsable de gestionar la tierra y el agua. Si se diseñan y gestionan de forma sostenible, pueden mejorar la productividad por hectárea y, al mismo tiempo, reducir la degradación del suelo, el uso del agua o la utilización de plásticos de un solo uso.

Los sistemas agrovoltaicos, que combinan una instalación fotovoltaica con una actividad agrícola sostenible, pueden contribuir a reducir las necesidades de agua de la agricultura al proteger los cultivos del calor y reducir la evapotranspiración (Barron-Gafford et al., 2019). Un estudio indicó que, en función del nivel de sombreado de los paneles fotovoltaicos, el ahorro de agua podría

alcanzar entre el 14 y el 29% (Marrou et al., 2013). Las plantas con menor densidad de raíces y una alta tasa de fotosíntesis neta son candidatas ideales para ser cultivadas dentro de un sistema Agro-FV (Adeh et al., 2018).

## **2. Fomentar las prácticas agrícolas sostenibles**

Las instalaciones agrovoltaicas pueden, por ejemplo, desplegar medidas físicas de control de plagas, como las redes, y reducir así el uso de productos químicos para el control de plagas (Solar Power Europe, 2020) y pueden contribuir a la seguridad alimentaria y a la protección de la biodiversidad.

Una investigación reciente de la asociación alemana de innovación del mercado energético BNE (Bundesverband Neue Energiewirtschaft eV., 2019) ha demostrado que las plantas fotovoltaicas a gran escala, cuando se diseñan para ser compatibles con la naturaleza, tienen efectos positivos sobre la biodiversidad, en comparación con la mayoría de los usos convencionales y monoculturales.

Los sistemas agrovoltaicos también pueden contribuir a aumentar la captura de carbono (Barron-Gafford et al., 2019), lo que ha sido identificado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) como un potencial significativo para reducir las emisiones de GEI (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2020).

## **3. Aumentar la resistencia de la agricultura de la UE al cambio climático y a otras perturbaciones y tensiones**

Las soluciones Agrosolares pueden diseñarse para hacer frente a los efectos negativos del cambio climático en la agricultura. Por tanto, pueden proteger y dar sombra a las actividades agrícolas frente a fenómenos meteorológicos inesperados y extremos como el granizo, el exceso de radiación solar y las plagas y enfermedades.

## **4. Permitir el desarrollo sostenible de las zonas rurales mediante un mayor rendimiento y nuevas oportunidades de negocio**

La combinación inteligente de infraestructuras solares y agrícolas puede permitir que las comunidades rurales sean más competitivas y sostenibles (*Solar Power Europe*, 2020). La ubicación conjunta de la agricultura y la energía fotovoltaica permite lograr una mayor eficiencia en el uso de la tierra. Las simulaciones indican que los sistemas de Agrovoltaica pueden aumentar la eficiencia del uso de la tierra hasta un 60-70%, en comparación con los sistemas mono equivalentes (Dupraz et al., 2011). Un sistema Agro-FV experimental con patatas en Alemania dio lugar a un rendimiento del 103% en comparación con un control, mientras que los sistemas fotovoltaicos generaron el 83% de la electricidad que se habría generado en la parcela similar, lo que supuso un aumento del 86% en la eficiencia del uso de la tierra (Fraunhofer ISE, 2020).

Al tiempo que se mantiene el uso agrícola como uso principal de la tierra, el doble uso de la tierra también sirve para diversificar los ingresos de los agricultores, protegiendo los ingresos y el desarrollo socioeconómico de las comunidades rurales incluso en caso de sequía extrema (Santa et al., 2017). Un beneficio adicional es la reducción del coste de los seguros ante posibles pérdidas de cosechas.

El acoplamiento de cultivos tolerantes a la sombra con sistemas agro-físicos aumenta el valor económico de las explotaciones en comparación con las prácticas agrícolas convencionales (Dinesh y Pearce, 2015). La co-ubicación de la energía fotovoltaica por encima de los cultivos ayuda a estabilizar el rendimiento de los cultivos en algunos casos y puede incluso aumentar el rendimiento eléctrico de la energía fotovoltaica, gracias al efecto de enfriamiento de las plantas sobre los paneles fotovoltaicos (Barron - Gafford et al., 2019). Los ingresos adicionales benefician directamente a las comunidades rurales y mejoran las infraestructuras rurales, las cadenas de valor y el suministro eléctrico distribuido, lo que a su vez puede promover la agricultura local (Majumdar, 2018).

Un estudio de 2017 (Carreño-Ortega, Á., Galdeano-Gómez, E., Pérez- Mesa, J.C., y del Carmen Galera-Quiles, M., 2017) muestra que se podrían cosechar importantes beneficios para los agricultores, especialmente en el sur de Europa. En el caso concreto de España, muestra que con unas condiciones normales de despliegue con 1,8 ha de invernadero (a gran escala), la rentabilidad de la explotación tendría un incremento del 9,89%, que subiría hasta el 14,1% si las inversiones están respaldadas por ayudas estatales. Otro estudio indica que el despliegue de Agrovoltaica puede aumentar los ingresos de la granja en más del 30% (Dinesh et al., 2016).

La energía solar, al ser la tecnología de energía limpia más escalable y rentable, permite a los agricultores estar en el centro del Green Deal europeo y de la recuperación verde posterior a COVID. La energía solar crea más puestos de trabajo por megavatio de potencia instalada que cualquier otra fuente de energía (Oficina Internacional del Trabajo, 2011). Los modelos de negocio de Agrosolar pueden contribuir a la creación de nuevas comunidades agrícolas ciudadanas y de energías renovables. Los estudios de casos analizados por el Centro Común de Investigación (Centro Común de Investigación, 2020) muestran que existen proyectos energéticos comunitarios de diversas formas en toda Europa, como por ejemplo tejados de granjas equipados con paneles solares o molinos de viento instalados por comunidades rurales en terrenos agrícolas.

## El concepto de agricultura sostenible

La sostenibilidad de cualquier proyecto solar está vinculada a su valor socioeconómico y medioambiental. En esta sección se analizan los criterios que mejor pueden evaluar el valor medioambiental y socioeconómico de los proyectos Agrosolar. Se puede encontrar más información sobre cómo maximizar la sostenibilidad de los proyectos solares en general en «las referencias a las mejores prácticas de sostenibilidad solar» (*Solar Power Europe*, 2021).

Para asegurar el funcionamiento efectivo, tanto de la infraestructura agrícola como del equipo de generación fotovoltaica, y para maximizar las sinergias agroecológicas identificadas en la sección principal, Agrosolar y la agricultura sostenible, los desarrolladores de proyectos Agrosolar deben ir más allá y definir un Concepto de Agricultura Sostenible (CAS).

En general, el CAS debe garantizar que el proyecto no entre en conflicto con el uso de las tierras agrícolas y la viabilidad (y en algunos casos, la continuidad) de la actividad agrícola. Debe elaborarse en las etapas iniciales de la fase de planificación del proyecto e incluir una evaluación de los impactos agronómicos, medioambientales y socioeconómicos del proyecto. El CAS se utilizará para planificar la actividad agrícola, garantizar que el sistema Agrosolar se adapte plenamente a la actividad agrícola y que se prevea un seguimiento adecuado del rendimiento del sistema durante toda su vida útil.

El CAS también debe tratar de minimizar los impactos ambientales negativos y maximizar las posibles sinergias ambientales. También garantizará que el proyecto sea económicamente viable para todas las partes, tanto por la actividad agrícola como por la generación de electricidad. El CAS implica un «enfoque a medida» de cada proyecto, adaptando las instalaciones de Agrosolar al tamaño de la explotación, la ubicación, la topografía del suelo, las condiciones climáticas locales, los impactos sobre la biodiversidad y la gestión del agua, además de la consideración de las comunidades rurales locales.

El CAS debe cubrir tres áreas generales, incluyendo una definición de la actividad agrícola que se ajusta a un tipo específico de sistema Agrosolar; la evaluación de los impactos ambientales del sistema; y la evaluación de los impactos socioeconómicos del proyecto. El CAS debe incluir un plan de seguimiento del rendimiento agrícola y fotovoltaico del sistema a lo largo de su vida útil. El contenido específico del CAS variará en función del proyecto concreto y de la solución Agrosolar. A continuación, avanzamos varios requisitos que deben incluirse en los CAS - entre estos requisitos hay elementos importantes que y elementos opcionales que, si se incluyen en los CAS,

podrían maximizar las sinergias agro-energéticas y la provisión de sostenibilidad del sistema Agrosolar.

### **1. Una definición de la actividad agrícola que se ajusta a un tipo específico de sistema Agrosolar**

El CAS debe incluir la información general de la actividad agrícola y del sistema fotovoltaico asociado al sistema Agrosolar, una evaluación de las necesidades de los actores agrícolas implicados, información sobre el terreno del proyecto y un plan técnico de la instalación Agrosolar. El CAS también debe evaluar los equipos y la maquinaria utilizados para llevar a cabo la actividad agrícola. La validez del CAS debe ser confirmada por un tercero independiente, para garantizar la compatibilidad de la actividad agrícola y un sistema solar fotovoltaico.

En caso de rotación de cultivos, el CAS debería incluir una evaluación del calendario de rotación de cultivos previsto. Especialmente en el caso de los sistemas Agrosolar combinados con cultivos, el CAS debería incluir una evaluación de la distribución de la luz y de las condiciones microclimáticas necesarias para el crecimiento de los cultivos (como las temperaturas, la humedad y el viento). En el caso de proyectos Agrosolar para la cría de animales, el CAS debería considerar el impacto del sistema Agrosolar en el bienestar de los animales.

Otros elementos que podrían considerarse son las mejoras en la capacidad de recuperación de la actividad agrícola, en particular qué tipos de sistemas de protección de cultivos podrían desplegarse.

### **2. Una evaluación del impacto medioambiental del sistema**

Al igual que en los proyectos solares fotovoltaicos estándar, una evaluación eficaz del impacto medioambiental de un determinado proyecto es un elemento esencial de los proyectos Agrosolar (*Solar Power Europe, 2020*). Los proyectos Agrosolar deben ajustarse a los requisitos legales del país del proyecto y cumplir con las normas internacionalmente aceptadas, como las Normas de Desempeño de la CFI y los Principios del Ecuador (Ibid). Respecto esto, pueden ser necesarias varias autorizaciones, incluida una evaluación de impacto ambiental (EIA).

Dada la dimensión agrícola de los proyectos Agrosolar, el CAS debe incluir también una evaluación de los impactos previstos sobre la erosión del suelo y el aterramiento previsto, una evaluación de la disponibilidad de agua y el impacto del sistema Agrosolar sobre la eficiencia del agua.

El CAS también debería prever el montaje y desmontaje sin residuos del sistema solar, lo que debería minimizar el impacto del proyecto en el terreno.

Otros elementos que podrían tenerse en cuenta son los impactos sobre la captación de carbono y la prestación de servicios de los ecosistemas locales, como la biodiversidad.

### **3. Una evaluación de las repercusiones socioeconómicas del proyecto**

Esto debe incluir un plan de negocio para el proyecto, una estimación de la eficiencia económica del proyecto y un cálculo de la eficiencia del uso de la tierra. El CAS también debe incluir una evaluación de las condiciones de trabajo en la explotación, incluidas las consideraciones de seguridad relacionadas con el despliegue de equipos eléctricos.

También debe incluirse una estimación del ahorro económico previsto durante la vida útil de la sustitución de los materiales de corta duración por un sistema Agrosolar duradero.

El CAS también podría incluir un plan de acción local que integre las opiniones e intereses de las comunidades locales. El CAS podría incluir un plan de comercialización de los productos agrícolas o un análisis del mercado regional de los productos agrícolas que se producirán en la finca Agrosolar. En este sentido, también podrían considerarse los impactos sobre los efectos del proyecto en las cadenas de suministro locales.

### **4. Una evaluación del rendimiento del ciclo de vida**

Dada la doble naturaleza de los sistemas Agrosolar, el CAS debe incluir la supervisión del rendimiento tanto agrícola como fotovoltaico del sistema.

Los proyectos de Agrosolar que demuestren una mejora en su rendimiento, o que hayan ido más allá de las acciones previstas inicialmente en el CAS, podrían ver incrementada su calificación. Por el contrario, los proyectos con un rendimiento inferior, o que no respeten su CAS, podrían ver disminuida su calificación. En el peor de los casos, cuando no se pueda demostrar una actividad agrícola o un rendimiento energético significativo, el estatus del proyecto como proyecto Agrosolar podría ser revocado.

Los proyectos Agrosolar deben recoger datos agronómicos, energéticos, medioambientales y socioeconómicos relevantes que puedan ser útiles para mejorar la calidad de Agrosolar en el futuro.

También podría evaluarse la vida útil del proyecto, incluyendo una evaluación detallada del rendimiento de los servicios ecosistémicos y socioeconómicos prestados por el proyecto.

### *Hacia una referencia de 3 estrellas para los proyectos Agrosolares*

Para evaluar la calidad de los proyectos específicos de Agrosolar, un marco podría adoptar la forma de una referencia de 3 estrellas que podría utilizarse antes del desarrollo del proyecto y a lo largo de su vida.

Estas directrices pretenden inspirar el desarrollo de marcos normativos sólidos para Agrosolar.

Un punto de referencia de 3 estrellas capta lo bien que está diseñado y operado un proyecto Agrosolar específico en términos de las sinergias agro-energéticas que crea y de su sostenibilidad social y medioambiental global. Las sinergias agro-energéticas y su sostenibilidad pueden representarse esquemáticamente como se ve en la Figura 12.

- **Cómo leer los criterios de referencia de 3 estrellas**

Un proyecto Agrosolar que respete los criterios esenciales del CAS (criterio obligatorio), como la elaboración del propio CAS, se calificará como proyecto Agrosolar con una calificación de una estrella. Si un proyecto cumple criterios adicionales (criterio optativo), como la demostración de las sinergias entre el sistema fotovoltaico y la actividad agrícola, o si el proyecto contribuye a las prácticas sostenibles desde el punto de vista social o medioambiental, el proyecto tenderá a obtener una calificación de dos estrellas. Por último, un proyecto ideal que cumpla los mejores criterios adicionales (criterio adicional), que maximicen las sinergias agro-energéticas o proporcionen importantes servicios ecosistémicos, recibirá una calificación completa de tres estrellas.

Es importante tener en cuenta que, si bien el cumplimiento de los «criterios obligatorios» es un requisito básico para ser considerado Agrosolar, el cumplimiento de los criterios «optativos y adicionales» sigue siendo opcional. El hecho de no cumplir uno o varios de estos criterios opcionales no impide que un sistema obtenga una calificación de calidad superior. Es importante

señalar que los criterios identificados en estas directrices no son exhaustivos y sólo tienen



carácter indicativo.

	CRITERIO OBLIGATORIO	CRITERIO OPTATIVO	CRITERIO ADICIONAL
DIMENSIÓN 1: Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene un concepto de CAS que incluye información general de la actividad agrícola y del sistema fotovoltaico, evaluación de las necesidades de los interesados en la agricultura, información sobre el terreno del proyecto, plan técnico del sistema Agrosolar, evaluación del uso de los equipos/maquinaria</li> <li>Satisface las necesidades de la actividad agrícola y genera electricidad verde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mostrar las sinergias entre la energía fotovoltaica y la agricultura</li> <li>Evaluación de la distribución de la luz y de las condiciones microclimáticas</li> <li>Gestión del agua realizada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximizar las sinergias entre la energía fotovoltaica y la agricultura</li> <li>Mejoras en la capacidad de recuperación de la actividad agrícola</li> </ul>
DIMENSIÓN 2: Medioambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluación efectiva del impacto ambiental del proyecto (evaluación del impacto ambiental estándar)</li> <li>Evaluación de los impactos sobre la erosión del suelo, el encenagamiento del suelo, la evaluación de la disponibilidad de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Normas mínimas de preservación del suelo durante la construcción y el desmantelamiento</li> <li>Tecnología eficiente, degradabilidad de las estructuras</li> <li>Enfoque del ciclo de vida</li> <li>Transición de la biodiversidad, prácticas agrícolas más sostenibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prestación de servicios ecosistémicos</li> <li>Aumento de las medidas de biodiversidad «Guía BNE» (sin pesticidas, semillas locales)</li> <li>Regeneración del suelo y captura de carbono</li> </ul>
DIMENSIÓN 3: Socioeconomía	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plan de negocio para el proyecto</li> <li>Evaluación de las condiciones de trabajo en la explotación, incluidas las consideraciones de seguridad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis del ahorro económico durante la vida útil de la sustitución de materiales de corta duración</li> <li>Consideración de las repercusiones en la cadena de suministro local</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plan de acción local que integre las opiniones y los intereses de las comunidades locales</li> <li>Establecimiento de/Integración en la comunidad local de agricultura y energías renovables</li> </ul>
DIMENSIÓN 4: Evaluación del ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seguimiento del rendimiento del sistema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recogida de datos sobre el rendimiento (agrícola, medioambiental, energético y socioeconómico)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluación detallada del rendimiento de los ecosistemas y los servicios socioeconómicos prestados</li> </ul>

*Desafíos existentes para Agrosolar*



Las barreras normativas, financieras y técnicas frenan actualmente el crecimiento del mercado de la Agrosolar en toda la UE.

- Barreras normativas y administrativas

Uno de los principales retos para el desarrollo de Agrosolar en Europa es la baja calidad o la ausencia de marcos regulatorios que apoyen el desarrollo de proyectos Agrosolar. Muchos países que tienen un importante potencial para desarrollar Agrosolar, como España, Portugal o Italia, carecen actualmente de un marco para desarrollar Agrosolar. Una excepción es Francia, donde la Comisión de Regulación Energética de la Documentación de Licitaciones proporciona una definición de los sistemas Agrosolar (CRE, 2017). Sin embargo, el marco de licitación francés no es tan específico como el régimen que regula la licitación de plantas solares montadas en tierra.

Más concretamente, los marcos de licitación existentes no ofrecen los incentivos adecuados para desarrollar proyectos Agrosolar. Mientras que varias soluciones Agrosolar han sido un éxito comercial durante varios años, la naturaleza innovadora de algunos sistemas Agro-FV significa que no siempre son competitivos en comparación con los sistemas solares tradicionales montados en el suelo. Dado que la mayoría de los sistemas de licitación se adjudican en función del precio de la energía, los proyectos agrovoltaicos no pueden competir todavía en las licitaciones estándar de energías renovables. Las únicas excepciones son las licitaciones de innovación en Francia y Alemania. En consecuencia, esto se traduce en un menor interés por parte de los potenciales inversores y una menor provisión de ayudas estatales para fomentar su desarrollo.

Otro obstáculo muy importante para el desarrollo de Agrosolar en Europa es la posible pérdida de las subvenciones de la PAC por parte de los agricultores que instalen energía solar en sus tierras. En Alemania, los agricultores vieron cómo se les retiraban las ayudas directas a los ingresos después de que desplegaran un sistema Agro-FV diseñado para permitir el pastoreo de ovejas en el lugar. Esta decisión fue revocada por los tribunales por considerar que se violaba la legislación de la UE, argumentando que la aplicación de la PAC en Alemania no respetaba la legislación de la UE (Tribunal Administrativo de Ratisbona, sentencia del 15 de noviembre de 2018).

Los promotores de Agrosolar tienen dificultades para obtener las autorizaciones de planificación y otros permisos necesarios. Esto se debe a la falta de conocimientos y a la ausencia de administraciones locales de permisos que puedan evaluar los expedientes.

- Barreras técnicas

Un importante obstáculo técnico es la disponibilidad de paneles, módulos y estructuras solares adecuados para los proyectos agrovoltaicos. Los principales fabricantes de módulos aún no comercializan módulos de tamaño y eficiencia adecuados para los sistemas agrovoltaicos. Los módulos fotovoltaicos, por ejemplo, deben ser bastante ligeros, ya que suelen ser más elevados. Los módulos y las estructuras también deben diseñarse de forma que las sombras que se proyecten sobre el suelo sean óptimas para los cultivos. En este sentido, las láminas traseras transparentes son especialmente adecuadas para los sistemas agrovoltaicos, ya que ofrecen la posibilidad de optimizar la transparencia de los paneles fotovoltaicos más adecuados para determinados cultivos.

La seguridad eléctrica también es un reto muy importante, ya que los trabajadores agrícolas, la maquinaria agrícola y los animales estarán presentes en el lugar. Las estructuras de los sistemas agrovoltaicos también deben estar diseñadas para resistir el impacto de vientos potencialmente fuertes.

El efecto del polvo esparcido por los productos, componentes y fertilizantes empleados en las actividades agrícolas para garantizar la producción de cultivos podría afectar a la fiabilidad y la durabilidad de los materiales de los módulos fotovoltaicos, además de repercutir en la potencia del sistema.

La accesibilidad también puede ser un reto en el desarrollo de proyectos Agrosolar. Las carreteras de acceso pueden no estar bien mantenidas, mientras que las comunicaciones pueden verse perjudicadas por la baja calidad del acceso a Internet y la red telefónica. Las conexiones a la red son otro importante obstáculo técnico para los proyectos Agrosolar. Las zonas rurales pueden tener una menor capacidad de red, lo que puede aumentar los costes de conexión y perjudicar la rentabilidad del proyecto.

- Barreras financieras

El carácter innovador de muchas soluciones de Agrosolar se traduce en un mayor coste de capital en comparación con la energía solar tradicional montada en el suelo. Además, los mayores riesgos asociados a los proyectos complejos que combinan inversiones agrícolas y energéticas han hecho que los inversores financieros y las aseguradoras sean reacios a apoyar el desarrollo de proyectos Agrosolar.

- Otros obstáculos

Una barrera adicional para el desarrollo de proyectos Agrosolar es la dificultad para identificar la propiedad de la tierra. Los agricultores no siempre son propietarios de las tierras que cultivan, lo que puede suponer una complejidad adicional a la hora de suscribir acuerdos de hipoteca y servidumbre. Además, pueden surgir conflictos de intereses entre los propietarios de las tierras y los agricultores, lo que puede crear una situación de incentivos divididos.

Además, el desconocimiento del sector de la energía solar por parte de los socios agrícolas puede suponer un obstáculo adicional. Es posible que los socios agrícolas no estén familiarizados con los plazos típicos de desarrollo de un proyecto, su duración y los aspectos técnicos de la integración de una actividad agrícola con la generación de electricidad solar. En algunos casos, la superación de los bajos niveles de confianza de las partes interesadas rurales hacia los promotores solares requiere esfuerzos adicionales. Responder a las reservas de las partes interesadas del sector agrícola puede ser un pilar fundamental para el éxito.

### *Cómo apoyar la Agrosolar*

Dado el potencial de Agrosolar para ayudar a la transición hacia prácticas agrícolas medioambientalmente sostenibles, para descarbonizar el sistema energético, las autoridades reguladoras y políticas (a nivel de la UE, nacional, regional y local) deberían proporcionar un apoyo específico para superar las barreras identificadas anteriormente. De este modo, se acelerará la consecución de los objetivos del Pacto Verde Europeo y se reforzará el liderazgo de la UE en materia de innovación tecnológica de cara al futuro.

Agrosolar encaja a la perfección para apoyar los objetivos del Pacto verde europeo, en particular los del paquete «Fit for 55» y la revisión de la PAC. La revisión de la Directiva de Energías Renovables (REDII) debería establecer objetivos ambiciosos para desplegar las energías renovables y reforzar las disposiciones sobre la autorización de proyectos de energías renovables y el acceso a la tierra. Además, el segundo pilar de la próxima PAC debería promover el despliegue de proyectos Agrosolar. Los tipos específicos de proyectos Agrosolar tienen un importante potencial para impulsar el desarrollo rural sostenible y contribuir a la consecución de los nueve objetivos de la futura PAC. En este sentido, los agricultores que desplieguen proyectos Agrosolar (que mantienen el uso agrícola de la tierra) deberían seguir recibiendo ayudas a la renta de la PAC.

En general, será esencial desarrollar una norma comunitaria para Agrosolar, que proporcione un marco común y apoye la armonización normativa en todos los Estados miembros de la UE. No obstante, una norma de la UE debería permitir una flexibilidad suficiente para adaptarse a las variaciones nacionales y regionales de las prácticas agrícolas, las condiciones climáticas, la calidad del suelo o los costes de la tierra, entre otros muchos factores.

Los Estados miembros de la UE también deberían promover Agrosolar mediante el desarrollo de marcos normativos y de habilitación para el desarrollo de proyectos Agrosolar. En general, estos marcos deberían promover el desarrollo de proyectos Agrosolar como estrategia para abordar los problemas de acceso a la tierra agrícola, y para promover prácticas agrícolas sostenibles y el desarrollo rural.

Concretamente, los marcos políticos de Agrosolar deberían centrarse en 6 áreas (Solar Power Europe, 2020). En primer lugar, los marcos políticos de Agrosolar deberían establecer mecanismos financieros específicos en función del tamaño de los proyectos. Además, deberían preverse reducciones fiscales o flujos de ingresos adicionales para los proyectos Agrosolar que proporcionen importantes servicios de biodiversidad y captura de carbono.

En segundo lugar, como complemento a los mecanismos de financiación, los gobiernos deberían crear marcos propicios para facilitar el desarrollo de proyectos Agrosolar. Este marco propicio debería abordar las barreras administrativas injustificadas para los proyectos, apoyar la financiación de los mismos y proporcionar apoyo técnico a los agricultores y comunidades rurales que deseen desarrollar proyectos Agrosolar. Debería permitirse un procedimiento acelerado de autorización de proyectos cuando se presente un SAC sólido y certificado.

En cuarto lugar, los Estados miembros de la UE deberían desarrollar marcos sólidos para evaluar la calidad de los proyectos Agrosolar, siguiendo las cuatro dimensiones del SAC. Fundamentalmente, los Estados miembros de la UE deberían garantizar que dichos marcos de garantía de calidad estén armonizados entre jurisdicciones para evitar barreras innecesarias en el mercado.

En quinto lugar, los marcos políticos de Agrosolar deben garantizar la coherencia entre los marcos políticos de agricultura, energía, medio ambiente y cambio climático. Éstas deben desarrollarse mediante un proceso participativo que tenga en cuenta las necesidades de los actores rurales y de la industria solar.

Por último, los marcos Agrosolar deberían canalizar la financiación pública y privada de I+D hacia programas de investigación centrados en la identificación de cultivos adecuados para su cultivo en combinación con la energía fotovoltaica, los impactos de los sistemas Agro-FV en los rendimientos y la rentabilidad, y en la demostración de diferentes conceptos fotovoltaicos.

En tercer lugar, basándose en el marco avanzado en estas directrices, los gobiernos deberían desarrollar «índices Agrosolar» que capten las externalidades agro-económicas, medioambientales y sociales de los sistemas Agro-PV. Estos índices podrían utilizarse para elaborar mapas que recojan los terrenos más adecuados para el desarrollo de proyectos, teniendo en cuenta la disponibilidad de acceso a la red.

## Tecnología

El funcionamiento de la generación de energía es el mismo para los sistemas agrovoltáicos y los sistemas fotovoltaicos montados en el suelo. Sin embargo, los requisitos de los componentes técnicos y los soportes del sistema son totalmente diferentes en el caso de la Agrovoltáica debido al cultivo de la tierra: la altura y la alineación del sistema, la estructura de montaje o la cimentación y, en su caso, el diseño de los módulos, todo debe adaptarse al cultivo con máquinas agrícolas y a las necesidades de las plantas. La gestión sofisticada de la luz y el agua también es importante para maximizar el rendimiento.

Para hacer posible el doble uso de las tierras de cultivo y la generación de energía, los módulos solares suelen instalarse a una altura de entre tres y cinco (en el cultivo del lúpulo también más de siete) metros por encima del campo. Esto hace posible que grandes máquinas agrícolas, como cosechadoras, trabajen la tierra por debajo del sistema agrivoltáico. Para garantizar que las plantas reciban suficiente luz y precipitaciones, la distancia entre las filas de módulos suele ser

mayor en comparación con los sistemas fotovoltaicos convencionales montados en el suelo. Esto reduce el grado de cobertura de la superficie a aproximadamente un tercio. En combinación con los soportes altos, este enfoque garantiza una distribución homogénea de la luz y, por tanto, un crecimiento uniforme de las plantas. Cuando se instalan módulos con seguimiento, la gestión de la luz puede adaptarse específicamente a la fase de desarrollo y a las necesidades de las plantas cultivadas (B. Valle, T. Simonneau, F. Sourd, P. Pechier, P. Hamard, T. Frisson, M. Ryckewaert y A. Christophe, Applied Energy 206 (2017)).

En este caso, la elección de la estructura de montaje, y en parte también de los módulos solares, suele ser bastante diferente a la de los sistemas fotovoltaicos montados en el suelo. Diversas tecnologías y diseños deberán cumplir los requisitos específicos del lugar y las condiciones de cultivo. Por lo tanto, se recomienda tener en cuenta la gestión de la luz en la planificación del sistema. En general, los sistemas agrivoltaicos deben ser de última generación y cumplir con las reglas y normas comúnmente aceptadas.

### *Enfoques para la Agrovoltaica*

Los sistemas agrivoltaicos, como en Francia y Japón, por ejemplo, suelen montarse sobre soportes altos. En este caso, la altura libre describe el espacio vertical sin obstáculos entre el suelo y el elemento estructural más bajo. A continuación, se describen varias posibilidades de doble uso de



las tierras de cultivo.



Los sistemas con soportes altos albergan un gran potencial de efectos sinérgicos. Sin embargo, deben permitir el cultivo bajo los módulos fotovoltaicos (figura 14).

Los módulos fotovoltaicos también pueden asumir una importante función de protección contra el granizo, la lluvia, las heladas nocturnas y otros fenómenos meteorológicos extremos. La figura 13 muestra una planta de investigación de la empresa BayWar.e. sobre un huerto. Esta planta, situada en los Países Bajos, se construyó utilizando módulos con una mayor separación entre células, lo que mejora la función de cubierta y protección y, al mismo tiempo, proporciona más luz solar a las plantas que otros sistemas fotovoltaicos.

Los efectos de sinergia también se pueden conseguir con módulos instalados cerca del suelo. Next2Sun lo consigue con módulos bifaciales que se instalan verticalmente. Aunque este tipo de sistema es más rentable debido a la baja altura de la estructura de montaje, también se reducen las opciones de gestión de la luz disponibles. Sin embargo, los sistemas instalados cerca del suelo podrían ser beneficiosos al reducir la velocidad del viento, que también afecta a la evaporación.

Los módulos fotovoltaicos tubulares instalados horizontalmente sobre soportes, implementados por la empresa TubeSolar AG, son otra opción. Este innovador enfoque promete una permeabilidad uniforme a la luz y al agua en toda la superficie, lo que es importante para el crecimiento uniforme de las plantas. La empresa asociada Agratio GmbH combina estos novedosos módulos con un soporte de bajo coste. En este caso, los tubos solares se montan sobre soportes y se suspenden sobre la superficie de cultivo, lo que da lugar a una media sombra favorable para la mayoría de las aplicaciones agrícolas.

En Japón se instalan módulos muy estrechos sobre las tierras de cultivo bajo el nombre de «reparto solar» para ajustar la disponibilidad de luz. En este caso, los sistemas agrivoltaicos sirven como fuente adicional de ingresos y previsión para los agricultores. Se pueden concebir muchas otras soluciones técnicas, con diversas ventajas e inconvenientes.

### *Tecnologías de los módulos*

Fundamentalmente, todos los tipos de módulos solares pueden utilizarse en sistemas agrivoltaicos. Los módulos con células solares de silicio en forma de oblea representan aproximadamente el 95% del mercado fotovoltaico mundial. La composición aceptada requiere un panel de vidrio en la parte delantera y una película blanca de cobertura en la parte trasera. Las células solares opacas se conectan en serie a una distancia de 2-3 mm y se laminan entre estos dos elementos. Para el montaje y la estabilización se utiliza un marco metálico.

En el caso de una cubierta trasera transparente (vidrio, lámina), los espacios entre las células permiten que la luz pase en gran medida y llegue a las plantas que están debajo. En el caso de los módulos convencionales, los espacios entre las células representan entre el cuatro y el cinco por ciento de la superficie. Los espacios pueden ampliarse y los marcos de los módulos pueden sustituirse por soportes de abrazadera para aumentar la transmisión de la luz. Los módulos con una mayor proporción de superficie transparente respecto a la total pueden proteger a las plantas contra las influencias ambientales sin reducir la disponibilidad de luz en la misma medida.

Los módulos bifaciales también pueden utilizar la luz ambiental que incide en el reverso para generar energía. Dependiendo del nivel de radiación que incida en el reverso, el rendimiento eléctrico puede aumentar hasta un 25% (normalmente entre un 5 y un 15%). Como la distancia entre filas suele ser mayor y los soportes tienden a ser más altos en la Agrovoltaica, la cantidad de luz disponible en el reverso de los módulos es particularmente alta. Por lo tanto, los módulos bifaciales son muy adecuados para la agrovoltaica. En el proyecto de investigación de Heggelbach se utilizaron módulos bifaciales de vidrio. Otra ventaja de los módulos con estructura de doble vidrio es la resistencia residual en caso de rotura del vidrio, lo que beneficia la salud y la seguridad laboral.

Los módulos de capa fina (CIS, CdTe, a-Si/ $\mu$ -Si) pueden realizarse sobre sustratos flexibles, lo que permite doblarlos de forma cilíndrica. Con una estructura por lo demás idéntica, su masa por

unidad de superficie es aproximadamente 500 g/m<sup>2</sup> (gramos por metro cuadrado) inferior a la de los módulos con células solares de silicio basadas en obleas. Sin embargo, la eficiencia es algo menor. El coste por unidad de superficie de los módulos de capa fina también se reduce ligeramente.

Esto se aplica también a la fotovoltaica orgánica (OPV). También es posible, en principio, el ajuste espectral selectivo de las capas activas de la OPV, lo que significa que una parte del espectro solar puede ser transmitida y aprovechada por los cultivos que crecen por debajo. Sin embargo, la OPV está todavía en fase de lanzamiento al mercado. La baja eficiencia y la durabilidad son algunos de los retos.

En la fotovoltaica de concentración (CPV), la luz se enfoca mediante lentes o espejos en pequeñas superficies fotoactivas. Los módulos CPV tienen que ser implementados con seguimiento solar, excepto los sistemas de muy baja concentración. La luz difusa se transmite en gran medida. En la actualidad existen muy pocos proveedores de módulos OPV y CPV para aplicaciones en Agrovoltaica.

### *Estructura de montaje y cimentación*

- **Diseño de la estructura de montaje**

El tipo de estructura de montaje debe adaptarse a la aplicación agrícola específica y a sus respectivas necesidades. Por ejemplo, la planificación de la altura del sistema y las distancias entre los soportes de acero. Aquí es importante tener en cuenta las cabeceras, la altura libre y la anchura de trabajo de las máquinas agrícolas. La planta de investigación de Heggelbach se diseñó de forma que incluso las grandes cosechadoras pudieran pasar por debajo. La distancia entre el suelo y la parte inferior de la estructura es de cinco metros. Además de los posibles efectos de sinergia, las ventajas de una gran altura libre incluyen un fácil acceso de los vehículos al terreno y una distribución más homogénea de la luz por debajo del sistema. Por otro lado, los costes de inversión de la estructura de montaje suelen ser menores en el caso de alturas libres más bajas, ya que se necesita menos acero y las exigencias estáticas se reducen en consecuencia.

La distancia entre hileras, la alineación y la altura del sistema agrivoltaico son de vital importancia, ya que ayudan a determinar la disponibilidad de luz. Estos parámetros deben adaptarse siempre a las necesidades de los cultivos que se encuentran debajo del sistema agrivoltaico. La distancia entre hileras de la planta de investigación de Heggelbach, por ejemplo, es de 9,5 metros con una anchura de hilera de módulos de 3,4 metros. Son posibles valores mayores o menores en función de la tolerancia a la sombra de las plantas cultivadas. Sin embargo, una distancia entre hileras mucho mayor aumenta la necesidad de terreno y, por tanto, los costes del sistema en relación con el rendimiento eléctrico.

- **Seguimiento de uno y dos ejes**

Hay sistemas, por ejemplo, en Francia, que funcionan con seguimiento de 1 o 2 ejes, lo que significa que los módulos solares siguen al sol mediante un mecanismo de seguimiento. Con el seguimiento fotovoltaico de un eje, los módulos siguen al sol horizontalmente según el ángulo de incidencia del sol (elevación) o verticalmente según la órbita del sol (acimut). Los seguidores de dos ejes hacen ambas cosas y, por tanto, maximizan el rendimiento energético. Sin embargo, los sistemas de dos ejes con mesas de módulos grandes pueden crear una umbra debajo de los módulos, mientras que otras partes del campo no reciben ninguna sombra. Durante las investigaciones preliminares para el sistema de Heggelbach se consideró que el seguimiento de los módulos fotovoltaicos no era rentable para los emplazamientos de Alemania. No obstante, a pesar de los mayores costes de adquisición y mantenimiento, el seguimiento puede optimizar los rendimientos energéticos y la gestión de la luz para el cultivo de plantas (B. Valle, T. Simonneau, F. Sourd, P. Pechier, P. Hamard, T. Frisson, M. Ryckewaert y A. Christophe, *Applied Energy* 206 (2017) (sección 5.4 Gestión de la luz). A través de la cubierta plana, los sistemas de seguimiento de dos ejes tienen el potencial de

proteger las plantas contra el granizo o el sol extremo, mientras que la sombra puede reducirse durante la fase de crecimiento.

- **Anclaje y cimientos**

El anclaje o la cimentación garantizan la estática y la estabilidad del sistema agrivoltaico. En el momento de la construcción de un sistema se debe demostrar que se cumplen estos requisitos de seguridad. Para los sistemas agrivoltaicos, no se recomiendan las cimentaciones permanentes de hormigón con el fin de preservar las valiosas tierras de cultivo. Las alternativas son las cimentaciones con pilotes o el anclaje especial con anclajes Spinnanker. Como no se utiliza hormigón, el sistema puede desmontarse sin dejar rastro.

Los conceptos agrivoltaicos móviles permiten montar el sistema, desmontarlo de nuevo e instalarlo en otro lugar sin necesidad de utilizar máquinas más grandes. Una posible ventaja: es posible que no se requiera un permiso de construcción, ya que no se trata de una alteración estructural. Por lo tanto, la Agrovoltaica móvil permite una adaptación flexible a la agricultura, incluido el despliegue espontáneo en regiones en crisis.

### *Gestión de la luz*

La sombra en las tierras de cultivo varía según el curso diario del sol y su posición cambiante a lo largo del año. Una luz homogénea es deseable para un crecimiento sano de las plantas, una maduración uniforme y para maximizar los efectos sinérgicos. Esto puede lograrse de varias maneras:

1. En Heggelbach no se eligió una orientación sur (0°). Según las simulaciones y las mediciones, una orientación suroeste o sureste, respectivamente con una desviación de 45° respecto al sur, es la más adecuada. En los cálculos se incluyó una reducción de la generación de energía de aproximadamente un 5%. La alineación real puede desviarse debido a las condiciones locales.
2. Otra opción es mantener la orientación sur y utilizar módulos fotovoltaicos más estrechos, como ocurre con el reparto solar en Japón.
3. También se puede obtener una iluminación homogénea con una alineación este-oeste de los módulos. El movimiento de la sombra a lo largo del día se maximiza con esta orientación. Para evitar una sombra debajo de los módulos fijos, que son totalmente impermeables a la luz, la anchura de las filas de módulos debe ser considerablemente menor que la altura del sistema. Como regla general, la altura libre debe ser al menos 1,5 veces la anchura de las filas de módulos. Este factor debería ser al menos 2 para los módulos sobre orugas. En cambio, los módulos transitorios reducen el factor en ambos casos, en función del grado de transmisión de la luz (véase el apartado 5.3.2 Seguimiento).
4. El seguimiento en dos ejes de los módulos fotovoltaicos es otra opción para la gestión selectiva de la luz y un mayor rendimiento eléctrico. Sin embargo, como ya se ha descrito en el apartado 4.3.2, esto se asocia con mayores costes de inversión y mantenimiento. Los sistemas con mesas de módulos grandes y seguimiento en dos ejes tienden a ser inadecuados para el cultivo de plantas debido a la umbra que hay detrás de los módulos. A su vez, otras partes del campo están permanentemente expuestas a plena luz solar.

En Heggelbach, la distancia entre las filas de módulos fotovoltaicos con una inclinación de 20° se incrementó en torno a un 60 por ciento en comparación con los sistemas fotovoltaicos convencionales montados en el suelo, haciendo que alrededor del 69 por ciento de la radiación solar total estuviera disponible para las plantas.

### *Gestión del agua*

El agua de lluvia que corre por los aleros de los módulos puede provocar la erosión del suelo al arrastrarlo.

Para evitar las consecuencias negativas para el crecimiento de las plantas en lugares y aplicaciones de riesgo, se pueden considerar varios enfoques de gestión del agua en el diseño del sistema: Al igual que en el caso de la gestión de la luz, los módulos fotovoltaicos estrechos o tubulares pueden evitar la acumulación de grandes cantidades de agua bajo el borde del módulo. En cambio, si los módulos están destinados a proporcionar una protección estructural a los cultivos, el seguimiento de los módulos fotovoltaicos (Y. Elamri, B. Cheviron, A. Mange, C. Dejean, F. Liron y G. Belaud, Hydrol. Earth Syst. Sci.22.2, 2018) para distribuir las precipitaciones que se desprenden de los aleros o canalizar el agua de lluvia son mejores opciones. En este último caso, se debe proporcionar suficiente agua a través del riego. Recoger y almacenar el agua de lluvia puede ayudar a conservar los recursos hídricos subterráneos, especialmente en las regiones áridas, o hacer posible la agricultura en primer lugar.

### *Tamaño del sistema fotovoltaico*

El tamaño medio de los sistemas agrivoltaicos instalados varía considerablemente de un país a otro. Además de la viabilidad económica, la descentralización y los aspectos sociales, los criterios clave a tener en cuenta son el impacto en el paisaje y, por tanto, la aceptación social. En Japón, por ejemplo, se encuentran sistemas más pequeños, de entre 30 y 120 kWp. En cambio, en China ya se han construido centrales de varios cientos de MWp.

*Tabla 3. Resumen de los pasos de aprobación de la Agrovoltaica*

<b>PASOS DEL PROCESO</b>	<b>DEL</b>	<b>INSTITUCIÓN</b>	<b>COMENTARIOS</b>
Permiso de construcción	de	Municipio	Mapa de zonificación y plan de desarrollo
Peritajes requeridos		Experto certificado	Informe ambiental, de suelo y de protección contra el deslumbramiento. Pruebas de carga de viento.
Registro de las servidumbres		Notario	Derecho de paso y estructura de la propiedad, por ejemplo
Seguros		Compañía de seguros	Un estudio realizado en colaboración con la compañía de seguros Gothaer Versicherung demostró que la cantidad asegurada para un sistema agrivoltaico no debería ser significativamente más costosa que para una instalación solar convencional comparable

El camino que va a tomar Alemania sigue abierto y probablemente se verá de forma diferente según la región. Los sistemas más pequeños, normalmente instalados sobre cultivos especiales, se adaptan a las regiones del sur de Alemania, que se caracterizan por tener parcelas más pequeñas y una mayor sensibilidad estética. En cambio, en las regiones del norte y el este de Alemania con grandes extensiones de terreno, los sistemas agrivoltaicos más grandes pueden tener sentido para las grandes explotaciones agrícolas, con el fin de compensar económicamente la menor radiación solar anual mediante economías de escala.

La necesidad de terreno para los sistemas agrivoltaicos suele ser entre un 20 y un 40% mayor que la de los sistemas fotovoltaicos montados en el suelo con la misma potencia nominal. Actualmente, un sistema agrivoltaico tiene una capacidad de 500 a 800 kWp por hectárea, mientras que un sistema fotovoltaico convencional tiene una capacidad de 600 a 1100 kWp por hectárea, dependiendo del diseño. El uso de módulos bifaciales puede aumentar el rendimiento eléctrico: En el primer año de funcionamiento, la producción de la planta de investigación de Heggelbach fue de 1284 kWh por kWp de capacidad, mientras que una instalación solar convencional en ese lugar sólo produce 1209 kWh por kWp.



## *Aprobación, instalación y funcionamiento*

### • **Proceso de aprobación de los sistemas agrivoltaicos**

Hay que tener en cuenta algunos aspectos específicos en el proceso de aprobación de la construcción de un sistema agrivoltaico. La documentación necesaria debe prepararse en estrecha coordinación con los socios tecnológicos. En la tabla 3 se ofrece un resumen de los permisos, dictámenes y documentos necesarios.

En la planta de investigación de Heggelbach, las tierras de cultivo bajo el sistema agrivoltaico se identificaron como zona de uso especial. Por lo tanto, se perdió definitivamente el derecho a las subvenciones a las tierras agrícolas, aunque se siga cultivando. Además, la tecnología Agrovoltaica no recibe ayudas a través de la ordenanza sobre licitaciones para instalaciones fotovoltaicas en suelo ni a través de la tarifa de alimentación de la EEG.

Hasta la fecha no existe ningún sistema de certificación para los sistemas agrivoltaicos en Alemania. El Fraunhofer ISE está trabajando actualmente con sus socios del proyecto para preparar una especificación DIN que defina los estándares de calidad que sirvan de criterio para las licitaciones, la elegibilidad de la financiación o los procesos de planificación simplificados. Esto incluye la definición de índices agrivoltaicos y los correspondientes procedimientos de prueba, que pueden ser aplicados por certificadores como la VDE (Federación alemana de industrias electrotécnicas, electrónicas y de tecnología de la información) o la TÜV.

### • **Instalación de un sistema agrivoltaico, usando Heggelbach como ejemplo**

Un sistema agrivoltaico debe adaptarse a las respectivas condiciones locales y a los métodos de cultivo. La planificación del proyecto y la ordenación del territorio suelen correr a cargo de una empresa especializada. Estas tareas fueron asumidas por BayWar.e. para la planta de investigación de Heggelbach.

Los socios técnicos son responsables de toda la planificación y los procesos relacionados con la construcción, instalación y funcionamiento del sistema. Esto incluye:

- Encontrar socios para comprar la electricidad sobrante y para inyectarla en la red.
- Construcción de la configuración del sitio y la protección del suelo
- Configuración del sistema
- Concepto de conexión, protección contra el rayo y supervisión
- Conexión a la red
- Mantenimiento técnico y eliminación

La primera audiencia sobre el plan de desarrollo de la planta de investigación por parte del consejo municipal de Herdwangen-Schönach tuvo lugar el 13 de octubre de 2015, y la solicitud de construcción se presentó solo seis meses después, el 6 de abril de 2016. Fraunhofer ISE obtuvo la aprobación de la conexión a la red de Netze BW el 24 de julio de 2015. El permiso de construcción se emitió el 3 de mayo de 2016. Sin embargo, la aprobación de la construcción estaba vinculada a la revisión de las estadísticas por parte de una oficina de ingeniería de pruebas independiente. También se elaboró un informe sobre el suelo para calcular y documentar la fuerza de sustentación real de los cimientos.

Los resultados de este informe de expertos y los comentarios del ingeniero de pruebas se incorporaron a la revisión de la estructura de montaje Agrovoltaica.

Los contratos para la instalación del sistema agrivoltaico se adjudicaron a varias empresas de acuerdo con la ordenanza de contratación, y la secuencia de construcción se coordinó en detalle y en estrecha consulta con la Hofgemeinschaft Heggelbach. La electrónica de potencia y el cableado del sistema agrivoltaico se instalaron para que la planta de investigación pudiera conectarse rápidamente a la red una vez terminada. Se realizaron cálculos estáticos y se adaptó el sistema

agrivoltaico en consecuencia. Entre otras cosas, hubo que instalar un anclaje Alpinanker para la cimentación del sistema agrivoltaico, además de los anclajes Spinnanker.

Según el calendario original, el inicio de las obras estaba previsto para julio de 2016. Sin embargo, los trabajos preliminares no pudieron completarse a tiempo debido a diversos retrasos en la legislación sobre construcción, por lo que el inicio de las obras se retrasó hasta agosto de 2016. No obstante, el sistema se completó con éxito a tiempo para las ceremonias de inauguración el 18 de septiembre de 2016.

- **La Agrovoltaica en funcionamiento**

Los módulos solares no son siempre totalmente accesibles debido a los cultivos y a la altura de la estructura de soporte. Por ello, el mantenimiento y las reparaciones deben realizarse cuando los campos están en barbecho. La seguridad es lo primero y no todos los vehículos de mantenimiento son adecuados para su uso en los campos. En el futuro se desarrollará un concepto de mantenimiento y reparación aplicable, en el que se establecerán los intervalos de mantenimiento y el alcance de los trabajos de mantenimiento, así como el cálculo de los posibles costes.

## Referencias y páginas web de utilidad

Adeh, E., Selker J.S., & Higgins, W. (2018). *Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency*. Retrieved from <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0203256>

Adeh Elnaz, H., Good, P., Calaf, M., & Higgins, W. (2019). Solar PV Power Potential is Greatest Over Croplands. *Scientific Reports volume*. Retrieved from [www.nature.com/articles/s41598-019-47803-3](http://www.nature.com/articles/s41598-019-47803-3)

Barron-Gafford, Greg A., et al. (2019). *Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands*. Retrieved from: <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0364-5>

Bundesverband Neue Energiewirtschaft e. V. (2019). *Solar parks – profits for bio-diversity*. Retrieved from [https://www.bne-online.de/fileadmin/bne/Dokumente/Englisch/Publications/201911\\_bne\\_study\\_biodiversity\\_profits\\_from\\_pv.pdf](https://www.bne-online.de/fileadmin/bne/Dokumente/Englisch/Publications/201911_bne_study_biodiversity_profits_from_pv.pdf)

Carreño-Ortega, Á., Galdeano-Gómez, E., Pérez- Mesa, J. C., & del Carmen Galera-Quiles, M. (2017). *Implicaciones políticas y medioambientales de los sistemas fotovoltaicos en la agricultura en el sureste de España: ¿Pueden los invernaderos reducir el efecto invernadero?*, Almería, España: Universidad de Almería.

CRE (2017). *Appel d'offres portant sur la réalisation et l'exploitation d'installations de production d'électricité innovantes à partir de l'énergie solaire*. Retrieved from <https://www.cre.fr/Documents/Appels-d-offres/appel-d-offres-portant-sur-la-realisation-et-l-exploitation-d-installations-de-production-d-electricite-innovantes-a-partir-de-l-energie-solaire>

Dinesh, H., & Pearce, J.M. (2016). *The potential of Agrivoltaic systems*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211501103X>

- EIP-Agri (2019). *EIP-AGRI Focus Group Circular horticulture - Final Report*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eip-agri\\_fg\\_circular\\_horticulture\\_final\\_report\\_2019\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eip-agri_fg_circular_horticulture_final_report_2019_en.pdf)
- European Commission (2011). *Roadmap to a Resource Efficient Europe*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/environment/resource\\_efficiency/about/roadmap/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/about/roadmap/index_en.htm)
- European Commission (2018). *CAP specific objective: Ensuring viable farm income*. Retrieved from: [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/key\\_policies/documents/cap\\_specific\\_objectives\\_-\\_brief\\_1\\_-\\_ensuring\\_viable\\_farm\\_income.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/key_policies/documents/cap_specific_objectives_-_brief_1_-_ensuring_viable_farm_income.pdf)
- European Commission (2018). *Trends in the EU agricultural land within 2015-2030*. Retrieved from <https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/jrc113717.pdf>
- European Commission (2019). *CAP specific objective: Jobs and growth in rural areas*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/key\\_policies/documents/cap-specific-objectives-brief-8-jobs-and-growth-in-rural-areas\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/key_policies/documents/cap-specific-objectives-brief-8-jobs-and-growth-in-rural-areas_en.pdf)
- European Commission (2019). *CAP specific objective: Structural change and generational renewal*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/key\\_policies/documents/cap-briefs-7-structural-change\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/key_policies/documents/cap-briefs-7-structural-change_en.pdf)
- European Commission (2019). *Evaluation of the Impact of the CAP on Water*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/key\\_policies/documents/ext-eval-water-final-report\\_2020\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/key_policies/documents/ext-eval-water-final-report_2020_en.pdf)
- European Commission (2020). *Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/energy\\_system\\_integration\\_strategy.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/energy_system_integration_strategy.pdf)
- European Environmental Agency (2019). *Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/cc-adaptation-agriculture>
- European Union (2018). *DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)*. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>
- European Commission (2021). *Solar power*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/solar-power\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/solar-power_en)
- Eurostat (2019). *Renewable energy statistics*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Online\\_publications](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Online_publications)

Fraunhofer ISE (2020). *Agrivoltaics: opportunities for agriculture and the energy transition. A guideline for Germany*. Retrieved from <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/agrivoltaics-opportunities-for-agriculture-and-the-energy-transition.html>

International Labour Office (2011). Investment in renewable energy generates jobs. Supply of skilled workforce needs to catch up. Retrieved from [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_emp/---ifp\\_skills/documents/publication/wcms\\_168354.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---ifp_skills/documents/publication/wcms_168354.pdf) (17/06/2021)

International Panel on Climate Change (2020). *Climate Change and Land*. Retrieved from <https://www.solarpowereurope.org/Agro-FV-how-solar-enables-the-clean-energy-transition-in-rural-areas/>

IRENA (2019). *Renewable Energy Auctions. Status and trends beyond price*. Retrieved from <https://www.irena.org/publications/2019/Dec/Renewable-energy-auctions-Status-and-trends-beyond-price>

IRENA (2020). *Solar energy Data*. Retrieved from <https://www.irena.org/solar>

Joint Research Centre (2020). *Energy communities: an overview of energy and social innovation*. Retrieved from <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC119433>

Kochendoerfer (2019). *The agricultural, economic and environmental potential of co-locating utility scale solar with grazing sheep*. Retrieved from [https://docs.wixstatic.com/ugd/6a0421\\_0d7f1a7b233f4318916feac42b781cd6.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/6a0421_0d7f1a7b233f4318916feac42b781cd6.pdf)

Marrou, H., Dufour, L., & Wery, J. (2013). How does Shetler of Solar Panles Influence Water Flows in a Soil-Crop System? – *European Journal of Agronomy*. (2013; 50, 38-51).

Majumdar, D. (2018) – Dual use of agricultural land: Introducing ‘agrivoltaics’ in Phoenix Metropolitan Statistical Area, USA – *Landscape and Urban Planning*. (170, 150–168).

Regensburg Administrative Court, judgment of November 15, 2018 - RO 5 K 17.1331.

Santra et al. (2017). Agri-voltaics or Solar farming: The Concept of Integrating Solar PV Based Electricity Generation and Crop Production in a Single Land use System – *International Journal of Renewable Energy* (Research 7(2): 694-699).

Schindele, S., et al. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy Volume 265 (2020)*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626192030249X>

Segarra Murria, J., & Jorro Ripoll, J. (2006). *Principles concerning the use of photovoltaic energy. Conditions for efficient exploitation*. La Valld’Uixó, Spain: Heliotec S.L.

Segarra Murria, J., & Jorro Ripoll, J. (2006). *Calculations and design*. La Vall d'Uixó, Spain: Heliotec S.L.

Solar Energy Association Industries (SEIA). *Solar energy*. Retrieved from <https://www.seia.org/initiatives/about-solar-energy>

Solar Power Europe (2019). *Solar Factsheets – Employment and job creation*. Retrieved from <https://www.solarpowereurope.org/solar-factsheets-employment-and-job-creation/>

Solar Power Europe (2020). *AGRO-FV: How solar enables the clean energy transition in rural areas*. Retrieved from <https://www.solarpowereurope.org/Agro-FV-how-solar-enables-the-clean-energy-transition-in-rural-areas>

Solar Power Europe (2021). *Solar Sustainability Best Practices Benchmark*. Retrieved from: <https://www.solarpowereurope.org/solar-sustainability-best-practices-benchmark/>

Valle, B., et al. (2017). *Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops*. Retrieved: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.113>

Y. Elamri, B. Cheviron, A. Mange, C. Dejean, F. Liron, and G. Belaud, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22, 2 (2018).

## Resumen

Este módulo consiste en la aplicación de energías renovables en la agricultura, centrándose en la energía fotovoltaica, y en la nueva modalidad denominada Agro-FV o Agrosolar, como una visión innovadora para crear una agricultura más sostenible en Europa con la ayuda de la energía solar y fotovoltaica. Este tipo de agricultura traerá consigo impactos a nivel social, medioambiental y económico.

## Preguntas abiertas

¿Cómo pueden los agricultores apoyar los nuevos Objetivos de Desarrollo Sostenible?

¿Puedo ser más sostenible sin perder dinero?

¿Son aplicables las energías renovables en la agricultura y la ganadería?

Quiero incluir las energías renovables en mi granja/vivero ¿Por dónde empiezo y qué tengo que tener en cuenta?

¿Cómo funciona la energía solar?

¿Qué es la Agrovoltaje o Agrosolar?

¿Qué se está aplicando en Europa para conseguir una agricultura más sostenible?

¿Qué tipo de criterios pueden evaluar mejor el valor medioambiental y socioeconómico aportado por los proyectos Agrosolar? Justifique su respuesta.

Defina los tres tipos más comunes de paneles de células solares.

¿Qué estructuras no son fijas? Coplanares; de seguimiento del sol e inclinadas.

¿Qué tipo de instalaciones fotovoltaicas existen? Justifique su respuesta.

¿Qué es un MPPT? Justifica tu respuesta.

## Anexo

### Glosario

CPzS: Batería tubular de plomo resistente a las vibraciones con electrolito líquido y contenedor opaco.

UE-28: abreviatura de la Unión Europea que consiste en un grupo de 28 países -del 1 de julio de 2013 al 31 de enero de 2020- (Bélgica, Bulgaria, República Checa, Dinamarca, Alemania, Estonia, Irlanda, Grecia, España, Francia, Croacia, Italia, Chipre, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Hungría, Malta, Países Bajos, Austria, Polonia, Portugal, Rumanía, Eslovenia, Eslovaquia, Finlandia, Suecia y Reino Unido) que funciona como un bloque económico y político.

OPzV: Batería estacionaria tubular de plomo con electrolito sólido en forma de gel.

### Lista de abreviaturas

*AC: Alternative current* ↓ Corriente alterna

*AGM: Absorbent glass mat* ↓ Estera de vidrio absorbente

Agro-FV: Fotovoltaica agrícola

AIE: Agencia Internacional de la Energía

*a-Si: Amorphous silicon* – Silicio amorfo

*CapEx: Capital expenditures* ↓ Gastos de capital

CAS: Concepto de Agricultura Sostenible

*CC: Constant Current* ↓ Corriente constante

*CdTe: Cadmium Telluride* ↓ Teluro de Cadmio

*CEP: Clean Energy Deal* ↓ Acuerdo de energía limpia

*CIS: Copper, Indium and Selenium* ↓ Cobre, indio y selenio

*CISG: Copper, Indium, Gallium and Selenide* ↓ Cobre, indio, galio y selenio

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

*CPV: Concentrator photovoltaics* ↓ Concentradores fotovoltaicos

*CSP: Concentrated solar power* ↓ Energía solar concentrada

DC: Direct current ↓ Corriente directa

*ED: Energy division* ↓ División de energía

EEG: en alemán *Erneuerbare-Energien-Gesetz*, traducido como Ley de fuentes de energía renovables

EIA: Evaluación de impacto ambiental

FEADER: Fondo europeo agrícola de desarrollo rural

FES: Fuente(s) de energía renovable

FiT: Feed-in-Tariffs ↓ tarifas de alimentación

FV: Fotovoltaica(os)

GEI: Gases de efecto invernadero

GWP: Global Warming Potential ↓ Potencial de Calentamiento Global

HSP: horas de sol pico

I+D: Investigación y desarrollo

IPCC: *International Panel on Climate Change* ↓ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

KW: Kilovatio

MPPT: *Maximum Power Point Tracking* ↓ Seguimiento del punto de máxima potencia

MtCO<sub>2</sub>: Toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente

Mtoe: Mega toneladas equivalentes de petróleo

OPEP: Organización de Países Exportadores de Petróleo

OPV: *Organic photovoltaics* ↓ Fotovoltaica orgánica

OPzS: Viene de O = *Ortsfest* (estacionario) Pz = *Panzerplatte* (placa tubular) S = *Flüssig* (inundado); un tipo de baterías de placa tubular, de plomo y de ciclo profundo, inundadas.

OTEC: *Ocean Thermal Energy Conversion* ↓ Conversión de energía térmica del océano

PAC: Política agrícola común

PR: *Performance Ratio* ↓ Relación de rendimiento

SHC: *Solar heating and cooling* ↓ Calefacción y refrigeración solar

TWh: Teravatio-hora

UE: Unión Europea

V: Voltio

W/m<sup>2</sup>: Vatios por metro cuadrado

W: Vatios

WP: Vatio pico

